

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Dermatologischen Klinik und Poliklinik
der Universität München

Direktor: Professor Dr. O. Braun-Falco

NEUERE UNTERSUCHUNGSMETHODEN AM HAAR, AUS-
GEWÄHLT UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG
DER WOLL- UND TEXTILINDUSTRIE

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten
Medizin verfaßt und einer Hohen Medizinischen
Fakultät der Ludwig-Maximilian-Universität
München

vorgelegt von

Isolde K n o l l

aus Langenneufnach

München 1969

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Borelli
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. Braun-Falco
Dekan:	Prof. Dr. Marguth
Tag der mündlichen Prüfung:	10. 6. 1969

INHALTSVERZEICHNIS

- A. EINLEITUNG
- B. PROBLEMSTELLUNG
- C. UNTERSUCHUNGSMETHODEN
- D. ZUSAMMENFASSUNG
- E. LITERATURVERZEICHNIS
- F. LEBENSLAUF

A. EINLEITUNG

In vorliegender Arbeit wurden neuere Untersuchungsmethoden für die Bestimmung der Länge, Dicke, Dichte, Elastizität, Festigkeit, Relaxation und Torsionsfestigkeit der Haare zusammengestellt. Sie stammen hauptsächlich aus der Woll- und Textilindustrie.

Es wurden auch einige ältere Methoden beschrieben. Viele der angegebenen Methoden wurden anscheinend in der medizinischen Literatur noch nicht aufgeführt.

B. PROBLEMSTELLUNG

Die Erforschung der physikalischen Eigenschaften der Haare hat eine große Bedeutung.

Die im Laufe besonders der letzten 3 Jahrzehnte erarbeiteten Erkenntnisse über die chemische Struktur des Haarkeratins und über den Keratinationsprozeß bedürfen der Ergänzung durch die mechanisch-physikalische Analyse des Haares, erlaubt diese doch weitere Einblicke in die chemische Struktur des Haares und seine physikalischen und physiologischen Eigenschaften (RICHTER, 1963, 56). Freilich sind die meisten physikalischen Methoden nicht in der Lage, so eindeutige Folgerungen zu gestatten, wie die chemische Analyse.

Nach HIRSCH (1956, 31) wurde für die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Haare der Ausdruck "Mechanochemie" geprägt. Die Grundlagen dieser Mechanochemie beruhen im wesentlichen darauf, die statischen Eigenschaften zu erproben und aus diesen Eigenschaften Schlüsse zu ziehen auf den Bau der Materie, weil jede Festigkeit nichts anderes als eine Folge der materiellen Struktur sein kann (HIRSCH, 1956, 31).

Naturgemäß befaßt sich besonders die Textilindustrie mit der physikalischen Untersuchung von Fasern -

Kunststoff-, Baumwoll- und Keratinfasern wie Wolle. Im Prinzip gelten die gleichen Untersuchungsmethoden für Haare, wenn auch die Ergebnisse natürlich oft anders auszuwerten sind als bei Nicht-Keratinfasern.

Im wesentlichen finden sich Hinweise auf Methoden in den Veröffentlichungen der Woll- und Textilindustrie, da hier dauernd neue und differenziertere Methoden entwickelt werden.

C. UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Dicke, Länge, Dichte

Bestimmung der Haardicke:

Beim menschlichen Kopfhaar liegt die Dicke im allgemeinen zwischen 0,05 und 0,1 mm. Die Werte fallen unterschiedlich aus bei von verschiedenen Personen stammenden Haaren (BRAUCKHOFF, 1958, 5).

Mikroskopische Bestimmung:

Zur quantitativen Bestimmung des Faserdurchmessers legt man das Haar auf eine Thoma-Zähltafel unter ein Deckgläschen und visiert durch Hin- und Herdrehen der Mikrometerschraube des Mikroskops die äußeren Ränder des Haares mit den Strichen der Zähltafel an.

Genauer als diese ziemlich subjektive Methode ist die Verwendung eines Okular-Mikrometers, einer Glasskala, die ins Mikroskop-Okular eingelegt wird und durch Umrechnung auf die Vergrößerungsfähigkeit des verwendeten Objektives die exakten Größenangaben liefert (HIRSCH, 1956, 30).

In der Wollindustrie ist das am häufigsten verwendete Gerät das "Lanameter", ein Projektionsmikroskop.

Bei der mikroskopischen Messung mit dem Lanameter wird eine Probe von etwa 0,3 mm Faserlänge zwischen zwei Deckgläschen in eine Einbettungsflüssigkeit mit etwaigem Brechungsindex von 1,5 gelegt. Das Projektionsmikroskop wirft das Präparat in etwa 700-facher Vergrößerung auf eine Scheibe. Hier wird mit einem Meßblatt, welches dem Verhältnis der Vergrößerung des Präparates entsprechend in Zonen der vorkommenden μ -Zahlen aufgeteilt ist, die Einzelfaser in die jeweilige Zone eingeordnet. Bei laufender Registrierung entsteht somit für alle Zonen die Einzelhäufigkeit. Die Messung des Faserdurchmessers erfolgt für das erfaßbare Stück der Einzelfaser (GRUONER, 1958, 23).

Die mikroskopischen Dickenmessungen fallen aber umso ungenauer aus, je dünner die Fasern sind,

weil sich dann infolge von Beugung, Linsen- und Fokussierungsfehlern usw. immer größere relative Meßfehler ergeben (BOBETH, 1958, 4).

Mechanische Dickenmesser:

Mechanische Dickenmesser vermeiden die optischen Abbildungsfehler.

Der Haardickenmesser nach C h a r l e s - A l e x a n d e r besteht aus einem Mikrotaster, der die Haardicke durch Zeigerübertragung sofort abzulesen gestattet, wenn man das längere Einzelhaar zwischen zwei Haltefedern einspannt, es hindurchzieht und den Taster wiederholt betätigt. Man bekommt auf diese Weise einen guten Überblick über die Dickenverhältnisse (HEILINGGÖTTER, 1954, 29).

Ein neues mechanisches Feindickenmeßgerät arbeitet mit variierbaren Meßkräften und kann für vielseitige Einzelfaser-Untersuchungen verwendet werden. Es vermeidet durch quasi meßkraftfreie Abtastung der Faser deren Deformation. Außerdem ist es möglich, mit kontinuierlich zu steigender Meßkraft die Faser quetschend zu belasten und die Dickenänderung (Abplattung) in Abhängigkeit von der Meßkraft zu registrieren. Auf diese Weise kann man die Quetschempfindlichkeit und die plastische bzw. elastische

Verformbarkeit von Fasern untersuchen.

Gerät: Ein Meßbolzen ist in horizontaler Lage mittels zwei Blattfedern an einem längs verschiebbaren Schlitten aufgehängt. Am vorderen Ende trägt der Meßbolzen ein Meßhütchen, dem ein fester Amboß gegenübersteht. Um die Berührung dieser beiden Meßelemente und damit die Nullstellung des Gerätes zu erreichen, wird der Schlitten mit dem Meßbolzen um den erforderlichen Betrag nach vorn bewegt, wobei sich die Berührung durch beginnende Bewegung einer Strichmarke des Strichblättchens im Mikroskop, das mit dem Schlitten fest verbunden ist, bemerkbar macht. Im Mikroskop ist dann die Stellung des auf dem Meßbolzen befindlichen Strichblättchens abzulesen. Anschließend wird der Prüfling zwischen Amboß und Meßhütchen eingebracht und in gleicher Weise die nunmehrige Stellung des Meßbolzens im Mikroskop festgestellt. Die Differenz der abgelesenen Werte bei Meß- und Nullstellungen entspricht dem gesuchten Durchmesserwert des Prüflings. Der Faserdurchmesser kann also auf diese Weise quasi meßkraftlos - also deformationsfrei - ermittelt werden (BOBETH, 1958, 4).

Luftströmungsverfahren:

Einfach und rasch kommt man bei Verwendung der Luftströmungsmethode ans Ziel. Die Grundlagen dieser Methode seien nach KÖB und STIEPEL (1951, 43) kurz beschrieben.

Preßt man eine Handvoll wirrer Fasern in eine Meßkammer und leitet einen Luftstrom hindurch, so setzt der Faserstopfen diesem einen beträchtlichen Widerstand entgegen. Dieser kann bestimmt werden, indem man z. B. den Luftdruck vor der Kammer konstant hält und die in der Zeiteinheit durch den Stopfen fließende Luftmenge mißt. Bei gleichbleibendem Rauminhalt der Meßkammer ist der Strömungswiderstand natürlich stark von der Menge des eingebrachten Materials abhängig. Es sind daher bestimmte Probengewichte festzuhalten. Weder die Länge der Einzelfaser noch deren Lage ist von entscheidendem Einfluß auf den Strömungswiderstand. Bei Faserstoffen gleicher Art wie z. B. Wolle kann dies daher nur noch von der Faserfeinheit abhängen, was auch der Fall ist.

Unter der Voraussetzung gleichen Probengewichtes gelangt von groben Fasern eine geringere Anzahl in die Kammer als von feinen Fasern. Zwischen groben Fasern können sich daher weitere Kanäle ausbilden, und der Luftdurchgang ist größer.

Genaue theoretische und praktische Untersuchungen haben die Gesetze der Luftströmung durch einen solchen Faserstopfen grundlegend geklärt.

Diese können zu der einfachen Aussage zusammengefaßt werden, daß die durchströmende Luftmenge in erster Linie von der Größe der Gesamtoberfläche der eingebrachten Faserprobe abhängt.

Wenn wir alle Einflüsse der Abmessungen des Gerätes, des Luftdrucks, des Probengewichts und der Oberflächenstruktur der Fasern in eine Konstante zusammenfassen, erhalten wir die grundsätzliche Beziehung zwischen Luftmenge V und Oberfläche O

$$V = K \cdot \frac{1}{O}$$

Nachdem bei Fasern mit rundem Querschnitt wie z. B. Wolle, eine geometrische Beziehung zwischen Oberfläche O und Faserdurchmesser D besteht, kann man auf dem Umweg über die Oberflächenmessung zu einer Faserdickenmessung kommen.

Die entwickelten Geräte arbeiten entweder mit einer konstanten Luftmenge (Airflow-Gerät, oder mit einem konstantem Druck (Solex-Meßgerät).

Airflow-Gerät:

Das Airflow-Gerät besteht aus einem Kompressor (Rotationssaugpumpe), dem Luftmengenmesser

(Rotator), der Meßkammer und einer Unterdruckmeßflasche. Bei mittlerer Stellung des Schwimmers (120 mm) durchströmen 16,3 Liter Luft / Minute das Rotatometer. In die Meßkammer, welche zylindrisch und mit gelochtem Boden versehen ist, wird die Faserprobe eingelegt.

Der Vorschrift entspricht eine Faserprobe von 7,5 mm Länge und 1,5 g. Durchströmt die mittlere vorgeschriebene Luftmenge das Rotatometer, so entsteht in der Flasche ein Unterdruck, welcher je nach Größe in dem anschließenden Glasrohr die Anzeige bewirkt (GRUONER, 1958, 23).

Das Solex-Meßgerät:

Statt mit konstanter Luftmenge wie beim Airflow-Gerät wird beim Solex-Meßgerät mit konstantem Druck gearbeitet.

Ein Tauchrohr taucht 500 mm in einen Wasserbehälter ein. Dadurch stellt sich ein Druck von 500 mm Wassersäule ein, ohne daß dieser Vorgang mit der Hand reguliert werden muß. Die Luftzufuhr muß so eingestellt werden, daß etwas Luft aus dem Tauchrohr austritt. Dieses Überströmen der Luft erkennt man an einem Geräusch, das dem Kochen von Wasser ähnlich ist. Die mittels dieses Tauchrohres auf konstantem Druck gehaltene Luft durch-

strömt eine Drosseldüse und anschließend das in einer Meßkammer untergebrachte zu messende Material. Wenn die Meßkammer kein Material enthält und offensteht, zeigt das Manometer nur wenige Millimeter Druck an, entsprechend der geringfügigen Reibung der Luft in der Leitung. Bei völligem Verschließen der Meßkammer stellt sich am Manometer der gleiche Druck ein, wie im Tauchrohr, nämlich 500 mm. Nach dem Einlegen eines Musters in die Meßkammer stellt sich nach wenigen Sekunden am Manometer ein bestimmter Druck ein, entsprechend dem Luftwiderstand, der von der Feinheit des Fasermaterials in der Meßkammer abhängig ist. Mit Hilfe von mehreren Mustern läßt sich eine Skala eichen, an der man die Faserfeinheit in Mikron ablesen kann. Das Regeln des Luftstromes mit der Hand wie beim Airflow-Gerät, ist hier nicht erforderlich. Die Meßkammer besteht aus einem Zylinder von 25 mm Durchmesser und 25 mm Höhe, sowie einem Kolben mit perforierter Bodenplatte, durch die die Luft entweichen kann.

Ein Gewicht des Faserpfropfens von 3 g ergab die geringste Streuung. Da der Luftwiderstand der Wolle in der Meßkammer beeinflußt wird durch die

Pressung, die der Faserpfropfen erfährt, ist die genaue Einhaltung des Gewichtes des Faserpfropfens wichtig. Jedes Muster sollte 3 mal gemessen werden. Für den Meßvorgang von Bedeutung ist der Feuchtigkeitsgehalt der Probe (TEICH, 1958, 61).

Mit polarisiertem Licht arbeitendes Gerät:

Auf der Eigenschaft, daß bestimmte Fasern, in unserem Falle Haare, durchgehende Lichtstrahlen doppelt brechen, beruht das mit polarisiertem Licht arbeitende Faserprüfgerät.

Verschiedenartige Interferenz-Lichteffekte werden in doppelt-brechenden Fasern, welche diagonal (evtl. orthogonal) zwischen einen gekreuzten Polarisator und Analysator gebracht sind, hervorgerufen. Dies wird durch den Phasenunterschied der in zwei zueinander senkrechten Ebenen schwingenden Strahlenkomponente verursacht. Von dem Phasenunterschied wird auch der Energiegehalt der durch den Analysator austretenden Strahlung beeinflusst. Dieses Prinzip wendet man bei diesem Gerät an.

Gerät:

Im Strahlenbündel des von der punktförmigen Lichtquelle kommenden Lichtstrahles ist eine Glasplatte (Polarisator) unter einem der

Totalreflexion entsprechenden Winkel angeordnet. Auch der Analysator wird auf gleiche Weise untergebracht. Bei der gekreuzten Lage von Polarisator und Analysator gelangt kein Licht bis zur Photozelle. Wird aber ein doppelt-brechende Fasern enthaltendes Präparat zwischen Polarisator und Analysator gebracht, erreichen die aus dem Analysator kommenden Lichtstrahlen die Photozelle, die einen Strom erregt, dessen Stärke mit der Intensität des darauffallenden Lichtstrahles proportional ist und auf dem Meßinstrument abgelesen werden kann.

Mit Hilfe eines Knopfes kann an Stelle des Polarisators ein Spiegel eingebracht werden. Dann wird das Präparat von gewöhnlichem (nicht polarisiertem) Licht durchstrahlt. Die Fläche, die von den im Präparat befindlichen Fasern bedeckt wird, wird durch Ablesung des Instrumentes ermittelt.

Die Intensität des polarisierten Lichts ist das Maß der molekularen Orientierung der Faserstruktur und auch der Faserfeinheit. Ist einer dieser beiden Faktoren gegeben, kann der andere ermittelt werden. Z. B. im Falle einer Faser von bestimmter Feinheit verändert sich die Lichtintensität gemäß des spez. Doppelbruches bzw. der molekularen Orientierung.

Ist der spez. Doppelbruch einer Faser konstant, verändert sich der von dem Gerät angezeigte Wert proportional mit der Faserfeinheit und dem Durchmesser.

Das Maß des Doppelbruches ist nicht vom Feuchtigkeitsgehalt der Fasern abhängig, was ein Vorteil ist (DISCHKA, 1961, 15).

Gerät nach dem Prinzip "der schwingenden Saite":

Einer neuen Methode für die rasche Ermittlung der Haarstärke liegt die Tatsache zugrunde, daß die Eigenschwingungen des Haares, wie allgemein einer Saite, von der Spannung, Länge und Dicke abhängen (BRAUCKHOFF, 1958, 12).

Das Gerät, das nach diesem Prinzip arbeitet, wird als V i b r o s k o p bezeichnet.

Die Faserprobe wird beim Vibroskop einseitig in das Gerät eingespannt und am unteren Ende mit einem Gewicht belastet. Dann wird die obere Klemme in Schwingung versetzt, bis die Faserprobe in Resonanz gerät. Von der angelegten Frequenz läßt sich auf die Feinheit nach der Formel schließen

$$Td = \frac{G}{l^2 \cdot f^2} \cdot 9 \cdot 10^5 \text{ (den)}$$

G = Vorspanngewicht

l = Einspannlänge

f = Frequenz

Man erhält natürlich bei dieser Methode nur Mittelwerte für das untersuchte Haar, die aber normalerweise ausreichen, falls nicht Wert auf die Feststellung unterschiedlicher Dickenverhältnisse längs des Haarschaftes gelegt wird (DEUTSCHE TEXTILTECHNIK, 1959, 62).

Messung mit radioaktiven Strahlern:

Die radioaktiven Strahler kommen in der Textilindustrie vor allem zur Bestimmung der Dicke von Garnen zur Anwendung. Als Strahler werden hauptsächlich β - Strahler verwendet, γ - Strahler nur ganz ausnahmsweise (HEGER, 1962, 28).

Die große Einsatzmöglichkeit der radioaktiven Isotopen ergibt sich aus ihrem eigenen Charakter, einmal durch ihre chemische Identität mit den stabilen Isotopen desselben Elements und zum anderen durch ihre große Nachweisempfindlichkeit bei bereits kleinsten Mengen. Man unterscheidet prinzipiell zwei Methoden bei der Anwendung:

1. Strahlenmethode

2. Indikatormethode

Die Indikatormethode ist für Fasern nicht geeignet. Mit der Strahlenmethode kann die feinste Faser bestimmt werden.

Prinzip der Strahlenmethode:

Ein radioaktives Isotop dient als Strahlenquelle, und man nutzt die spezifische Eigenschaft der radioaktiven Strahlung aus, materielle Körper zu durchdringen, bzw. von ihnen absorbiert zu werden. Die Strahlen werden beim Durchgang absorbiert, gebremst und auch gestreut. Dabei ändern sich die Strahlen in Bezug auf ihre Teilchenzahl und in qualitativer Hinsicht in Bezug auf ihre Energie. Bei der Durchstrahlungsmethode wird die Veränderung der Absorption der radioaktiven Strahlung (Beta-Strahlung), die in Abhängigkeit zur Materialdicke und auch zur Ungleichmäßigkeit steht, ausgenutzt. Die Schwächung der Strahlung ist von der durchstrahlten Schicht abhängig, sie ist dem durchsetzten Schichtelement proportional.

Meßgerät:

Thallium-204 liegt in einer Al-Kapsel, deren Wände nicht allzu stark zu sein brauchen, um die β - Strahlen abzuschirmen. Befindet sich das Gerät in Betrieb, wird eine Öffnung, die in die Kapsel eingearbeitet ist, freigelegt. Diese ist lediglich mit einem hauchdünnen

Fenster abgeschlossen, sodaß die Strahlung ungehindert austreten kann. Die Breite und Höhe der Öffnung richtet sich nach dem zu messenden Material. Ferner können vor den Detektor (Zähler) Blenden gesetzt werden, die nur eine begrenzte Breite der Strahlung eintreten lassen. Mit dieser Methode werden die bei β - Strahlung auftretenden Streustrahlen ausgeblendet. Nachteilig ist die Herabsetzung der Intensität der Strahlung.

Die Anordnung des Präparates ist so, daß sich die radioaktive Strahlungsquelle auf der einen Seite des Meßgutes befindet und der Strahendetektor für die Strahlung auf der anderen Seite. Dabei ist der Abstand von der Strahlungsquelle zum Meßgut bzw. Detektor in einem bestimmten Verhältnis zu wählen, nach Möglichkeit in geringer Entfernung, um eine Schwächung der Strahlen durch Luftschichten zu vermeiden.

Das Meßgut läuft also zwischen Strahlungsquelle und Detektor hindurch. Als Gerät zur Messung der Strahlung können ein Geiger-Müller-Zähler, oder eine Ionisationskammer verwendet werden (FRENZEL und VIETH, 1956, 19).

Bestimmung der Länge bzw. Längenänderung:

Einfache Messung mit Meßstab:

Für die Längenbestimmung von Haaren genügt meist die Ausmessung mit einem gewöhnlichen Millimetermaßstab, wobei das Haar so gestreckt wird, daß die Kräuselungsbogen gerade verschwinden. Sehr kurze Haare mißt man am vorteilhaftesten am Mikroskop aus (BRAUCKHOFF, 1958, 5).

Längenänderungsbestimmung nach dem Prinzip des Hygrometers:

Wie alle Faserstoffe ist auch das Haar hygroskopisch. Es nimmt unter Einfluß der relativen Luftfeuchte Wasser auf. Bei der Wasseraufnahme quillt das Haar in der Längs- und der Querrichtung.

In der Längsrichtung quillt es um 1 % der Haarlänge, wenn das zimmertrockene Haar in Wasser gelegt wird. Vom physikalischen Standpunkt aus betrachtet sind besonders die Werte der Längsquellung von Interesse. Durch ihre Feststellung ist es möglich, Rückschlüsse auf die elastischen Eigenschaften des untersuchten Haares zu ziehen (BRAUCKHOFF, 1958, 6).

Das Gerät entspricht einem Hygrometer, in der Ausführungsform nach KOPPE. Es ist so gebaut, daß die zur Untersuchung gelangenden Haare leicht ausgewechselt werden können. Das Haar wird an der oben befindlichen Einstellfeder mittels eines konischen Stiftes befestigt. Mit dem unten befindlichen Angriffshebel wird es in der Weise verbunden, daß entweder am unteren Ende des Haares ein Knoten angebracht und danach in den Schlitz des am Angriffshebel befindlichen Hakens eingeführt wird, oder, daß das Haar mittels einer Schlaufe am Haken eingehängt werden kann. Angriffshebel und Hygrometerzeiger haben eine gemeinsame Achse. Jede Änderung des Haares wird genau angezeigt. Nahezu Sättigungsfeuchte kann in der Weise erreicht werden, daß über das Gerät ein Gehäuse mit feuchter Gazewand gestülpt wird. Die Längenänderungen zwischen Sättigungsfeuchte und einer beliebigen niederen Feuchte können daher mit diesem Gerät genau ermittelt werden. Die Erhöhung des Längsquellungswertes ist ein sicheres Kriterium für Schädigungen und Veränderungen im Haarkeratin unter dem Einfluß exogener Behandlungen (BRAUCKHOFF und FRIEDERICH, 1953, 13).

Neues Meßgerät:

Ein neues Längenmeßgerät ermöglicht neben gut reproduzierbaren Meßwerten auch noch eine definierbare Naßbehandlung.

Das Gerät besteht aus einem vertikal verschiebbaren Alu-Rahmen. Dieser trägt die Klemmen und Meßeinrichtungen zur Aufnahme und zum Messen von 10 Fadenabschnitten.

Zum Netzen und Trocknen wird der Rahmen mit den Fäden in eine Cuvette eingefahren. Diese steht über Schläuche mit zwei Vorratsbehältern für die wahlweise zu verwendenden Netz- bzw. Entwässerungsflüssigkeiten, z. B. Wasser und Methanol, kommunizierend in Verbindung. Vorratsbehälter sind mit Heizelementen ausgerüstet um die Behandlungsflüssigkeit auf die verlangte Temperatur zu bringen. Auch die Cuvette ist mit Heizrohren (elastisch) ausgestattet, um die Netzflüssigkeiten und später beim Trocknungsprozeß den Luftstrom auf die gewünschte Temperatur aufheizen zu können. Zwecks Trocknung wird nach Ablassen der Flüssigkeit an der Cuvette über die gesamte Breite der 10 Meßstellen eine Lufteintritts- klappe geöffnet, so daß durch den thermischen Auf-

trieb (Kaminwirkung) die Trocknung erzielt wird. Während die unteren Klemmen direkt am Alu-Rahmen angebracht sind, hängen die oberen Klemmen an dünnen Stahlbändern, die im Rollengegenzug mit auflegbaren Vorlastmassenstücken an spitzengelagerten Meßtrommeln befestigt sind. Die Meßtrommeln besitzen eine Millimetereinteilung (Prozentangabe) und laufen an einer Nullmarke vorbei, die zwecks paralaxefreien Ablesens zwei Haarstriche aufweist. Die Klemmen sind federnd ausgebildet. Die Prüfprobe wird in die obere Klemme eingespannt, und es wird solange am Prüfling gezogen, bis die Meßrolle mit der Nullmarke auf den Meßstrich einspielt. Sodann wird die untere Klemme durch Federdruck geschlossen. Die Fadenlänge unter der eingestellten Vorspannung beträgt genau 500 mm. Aus der Längenänderung L wird die relative Längenänderung l

$$l = \frac{L}{L_0} \quad \text{berechnet und in}$$

Prozent angegeben, wobei L_0 die Anfangslänge bedeutet. Je nachdem, ob L und l positiv oder negativ ist, bedeutet die Längenänderung Längung oder Schrumpfung.

Da die Rollengegenzugseinrichtung ohne Masseauflage im labilen Gleichgewicht justiert ist, befindet sich die eingespannte Probe jeweils unter der, dem aufgelegten Massestück entsprechenden Spannung, die wahlweise angelegt oder entfernt werden kann. Entspannung erfolgt durch Anheben der Massestücke mittels einer einschiebbaren Schiene. Diese Vorrichtung ermöglicht eine spannungslose Fadenbehandlung und ein kurzzeitiges Anlegen der Vorspannung zum Zwecke der Längenbestimmung. Für das Einspannen, Messen, sowie Klimatisieren der Probe wird der die Einspannvorrichtung tragende Rahmen aus der Cuvette ausgefahren. Der Rahmen ist im Rollengegenzug aufgehängt und somit leicht bewegbar. Die Flüssigkeitsbehälter werden durch Motorkraft gehoben und gesenkt.

Die Heizung ist für Temperaturen der Netzflüssigkeit bis zu 95° ausgelegt, die Trocknungstemperatur bis zu 100° einstellbar (SCHIMMELSCHMIDT, 1965, 60).

Bestimmung der Dichte:

Die Dichte ist nicht nur als Bezugsgröße für Festigkeits- und Dickenmessungen wichtig, sondern gibt aufgrund ihrer direkten Abhängigkeit vom Ordnungsgrad der Molekülketten im Material

Hinweise über deren strukturellen Aufbau und dessen Veränderungen durch mechanische, thermische und chemische Beanspruchungen, Die Dichtebestimmung stellt somit eine wichtige Ergänzung zu den klassischen Methoden der Strukturanalyse dar. Bei der Bestimmung der Faserstoffdichte für strukturelle Betrachtungen werden sehr hohe Anforderungen an die Meßgenauigkeit gestellt und zwar sollte mindestens eine Genauigkeit von $+ 0,0001 \text{ g/cm}^3$ erzielt werden, um die durch verschiedene äußere Einflüsse bedingten strukturellen Veränderungen des Faserstoffes auch sicher erfassen zu können (BOBETH, 1965, 3).

Definition des Begriffes der Dichte: die Dichte eines festen Körpers ist das Verhältnis seiner Masse zu dem von ihm eingenommenen Volumen, also die Masse in Gramm je Volumeneinheit (ccm) (JUILFS, 1959, 40).

Das Volumen eines Körpers bei unregelmäßiger Oberflächengestaltung wird mittels Eintauchen in eine Flüssigkeit durch die verdrängte Flüssigkeitsmenge bestimmt. Eine solche Volumenbestimmung bietet keine Schwierigkeit, solange sich eine klar definierte Trennfläche zwischen dem untersuchten Körper und der umgebenden Flüssigkeit ausbildet. Nun ist aber diese letzte Be-

dingung bei Fasern im allgemeinen nicht erfüllt. Tauchflüssigkeiten werden infolge der mehr oder minder kleinen Hohlräume auch innerhalb des Gefüges der Fasermoleküle, je nach Form und Größe der Flüssigkeitsmoleküle, in unterschiedlicher Weise in die Fasersubstanz eindringen, wodurch der Begriff des eigentlichen Volumens der Faser in der Tauchflüssigkeit unsicher wird. Weiter tritt in den meisten Fällen auch ein Einbau der Flüssigkeitsmoleküle in die Fasersubstanz unter Volumenvergrößerung, also eine Quellung ein, die eine direkte Messung des Ausgangsvolumens unmöglich macht. Dabei sind beide Effekte - Eindringen von Flüssigkeitsmolekülen in die Fasermasse und Quellung - einerseits von der Temperatur und andererseits vom natürlichen Feuchtigkeitsgehalt der Fasersubstanz abhängig. Schließlich muß auch in Betracht gezogen werden, daß zwischen Tauchflüssigkeit, Fasersubstanz und Faserfeuchte Wechselwirkungen verschiedener Art stattfinden können (JUILFS, 1959, 40).

Die Meßgeräte arbeiten nach der Schwebemethode. Hierbei wird entweder die Temperatur

oder die Konzentration der Tauchflüssigkeit, in welche die Faser gebracht wird, so eingestellt bzw. entsprechend variiert, bis die zu messende Faser gerade schwebt. Bei dieser Einstellung sind die Dichten der Faser und der Flüssigkeit einander gleich, weil der Auftrieb der Faser in der Flüssigkeit (das ist das Produkt aus dem Faservolumen und dem spez. Gewicht der Flüssigkeit) und das Gewicht der Faser dann gerade gleich groß sind.

Ersichtlich liegt bei der Schwebemethode eine kombinierte Messung von Gewicht und Volumen vor, wobei also die dargestellten Probleme der Volumenmessung der Faser auch eingehen (JUILFS, 1959, 40).

1. Schwebemethode mit Temperaturvariation:

Es wird die Temperatur der Tauchflüssigkeit, in welcher sich die Faser befindet, zunächst so hoch eingestellt, daß die Dichte der Flüssigkeit kleiner ist als die der Faserprobe und die Faserprobe am Boden des Schwebegläschens liegt. Beim Ansteigen der Dichte der Flüssigkeit durch Senken der Temperatur wird einmal der Punkt erreicht, an welchem die Dichte der Flüssigkeit übereinstimmt mit der

Dichte der Faserprobe und die Faserprobe sich vom Boden abhebt und zu schweben beginnt.

Bei der von JUILFS (1959, 40), entwickelten Apparatur sind die Schwebef Gefäße als dünne Glasröhrchen mit etwa 6 mm Durchmesser und einer Länge von etwa 120 mm ausgebildet.

Die Schwebef Gefäße werden an einer rotierenden Scheibe gehalten, an welcher sie mit mäßiger Geschwindigkeit durch ein Thermostatenbad gezogen werden. Auf diese Weise wird erreicht, daß ein etwaiger Ortseinfluß ausgeschaltet ist, und daß durch die leicht pulsierende Bewegung der Gläschen ein Anlehnen der kleinen Faserpröbchen an die Glaswand verhindert wird.

Die Größe der zu untersuchenden Faserprobe wird in der Größenordnung 1/10 mg bis 1 mg gewählt. Diese Methode hat sich praktisch bewährt.

Die Meßgenauigkeit beträgt für die Einzelmessung bis zu $+ 0,0001 \text{ g/cm}^3$.

2. Schwebemethode mit Konzentrationsvariation:

Sie ist relativ einfach handzuhaben. Man arbeitet mit einer "Gradientensäule".

Durch Übereinanderschichten (bzw. Unterschichten) zweier Flüssigkeiten mit verschiedener Dichte in einem Glaszylinder, bildet sich um die Trennschicht durch Diffusion oder durch Umrühren ein mehr oder weniger großes Konzentrationsgefälle (Konzentrations- "Gradient") aus, in welchem Gebiet die Dichte, von der Dichte der schweren Flüssigkeit ansteigend, sukzessive nach oben schließlich den Wert der Dichte der leichteren Flüssigkeit erreicht.

Faserproben, deren Dichte zwischen derjenigen der beiden Ausgangsflüssigkeiten liegt, schweben dann in einer Höhe, welche bei der herrschenden Temperatur ihrer eigenen Dichte entspricht. Ist die Dichteverteilung über der Säulenhöhe bekannt - sie wird im allgemeinen mit Hilfe von Kügelchen bekannter Dichte ausgemessen -, so ist die Schwebhöhe einer Faserprobe ein unmittelbares Maß für ihre Dichte (ORR, 1959, 54).

Elastizität und Festigkeit:

Unter Elastizität versteht man die Fähigkeit der Haare, nach dem Weglassen einer Belastung die Lageveränderung ihrer Kolloidteilchen wieder zurückzubilden.

Ein normales Haar kann innerhalb großer Dehnungsstrecken nach der Aufhebung der Belastung auf etwa die Hälfte seiner Dehnungsverlängerung zurückschnellen (MARCHIONINI und ARETZ, 1934, 45).

Ein Körper ist umso elastischer, je größere Dehnungen er verträgt, ohne dauernd deformiert zu werden. Bis zu einer bestimmten Belastungsgrenze, der Elastizitätsgrenze, kann jeder Körper reversibel gedehnt werden. Wird die Elastizitätsgrenze überschritten, dann bleibt ein Teil der Überdehnung erhalten. Beim zimmergetrockneten Haar ist die Elastizitätsgrenze ziemlich rasch überschritten (BRAUCKHOFF, 1958, 7).

Unter Dehnung versteht man die relative Längenänderung (WESTPHAL, 1961, 64). Man befestigt dabei die Haare in einer Aufhängevorrichtung und belastet sie mit Gewichten. Der Zusammenhang der einzelnen Kolloidteilchen wird dabei nicht sofort gelöst, dem Zerreißen geht eine mehr oder minder bleibende Gestaltsänderung, die Dehnung, voraus (MARCHIONINI und ARETZ, 1934, 45). Über die Dehnungstheorien sei auf HIRSCH (1956, 36) verwiesen.

Beim Lehnen leistet das Haar eine Arbeit, die sogenannte Dehnungsarbeit.

Physikalisch ist die Arbeit durch das Produkt: Kraft $\times$ Weg definiert. Die Dehnungsarbeit kann aus der Dehnungskurve ermittelt werden, wenn man die Arbeit berechnet, die von der mittleren Belastung auf dem mittleren Dehnungsweg geleistet wird. Auch kann man diese Größe aus dem Spannungs-Dehnungs-Diagramm durch Ermittlung der von der Dehnungskurve und der Abszisse eingeschlossenen Fläche erkennen (BRAUCKHOFF, 1958, 9).

Die bis zum Zerreißen geleistete Dehnungsarbeit wird als Zerreiẞarbeit bezeichnet. Je höher sie ist, umso besser ist die Qualität des Haares (BRAUCKHOFF, 1958, 10).

Wird ein Haar in horizontaler Lage an einem Ende festgeklemmt und das freie Ende belastet, dann verschiebt sich dieses Ende um eine bestimmte Strecke nach unten, das Haar wird gebogen, nach Entfernung der Belastung schnellt es wieder in seine ursprüngliche Lage zurück. Man bezeichnet diesen Vorgang als Biegungs-
elastizität.

Die Senkung, die das Haar erfährt, wird "Biegungspfeil" genannt; seine Größe ist innerhalb gewisser Grenzen direkt proportional der Belastung und ist außerdem von Länge und Querschnitt

des Haares abhängig. Die Biegungselastizität wird am besten durch das Bieungsgewicht angegeben. Es bezeichnet diejenige Belastung, welche bei einem Haar von 5 mm Länge den Bieungspfeil 1 mm erzeugt (RICHTER, 1963, 57).

Für die Beurteilung der Qualität eines Haares ist es wichtig zu wissen, bis zu welcher Grenze es belastet werden darf, ehe es reißt.

Dazu dienen die Begriffe Reißfestigkeit und Bruchdehnung.

Unter Reißfestigkeit versteht man das Gewicht (in Gramm ausgedrückt), das die Kohäsion der Kolloidteilchen im Haar an einer Stelle durch zu große Belastung überwindet und das Haar dadurch zum Zerreißen bringt.

Beim ungeschädigten menschlichen Kopfhaar liegt die Reißfestigkeit meist oberhalb 50 g. Dickere Haare können u. U. 100 g und mehr tragen (BRAUCKHOFF, 1958, 8).

Die Bruchdehnung ist die Dehnung der Fasern (in % der Einspannlänge ausgedrückt) bis zum Augenblick des Bruches (FRIEDERICH und FRÖB, 1950, 20). Je höher die Werte für Reißfestigkeit und Bruchdehnung, umso besser ist das Haar in seiner Qualität. Im Verhältnis zu ihrer Feinheit weisen die Haare einen hohen Grad von Stärke und Festigkeit auf (HYRTL, 1873, 37).

Bestimmung der Festigkeit und Elastizität:

Für die Prüfung von Fasern auf Festigkeit, Dehnung und Elastizität gibt es eine Reihe von Geräten. Die Ergebnisse werden in Belastungs-Dehnungs-Diagrammen bzw. Kraft-Dehnungs-Diagrammen aufgezeichnet. Zwischen diesen Diagrammen besteht ein Unterschied.

Das Kraft-Dehnungs-Diagramm entsteht bei der Aufzeichnung von Werten, die dadurch gewonnen werden, daß ein Haar zwischen zwei verschiebbare Backen gespannt wird, bei deren Auseinanderbewegung das Haar gestreckt wird. Durch die Relaxationerscheinung (siehe später), ändert sich dabei die Kraft bei der Einstellung der Backen mit der Zeit.

Im Fall der Last-Dehnungsmessung wirkt dagegen stets die gleiche Last auf das Haar, wenn man es mit einem Gewicht belastet. Da aber die Relaxation eine logarithmische Funktion der Zeit ist, ist sie nicht in allen Kurvengebieten eines Kraft-Dehnungs-Diagramms während des Dehnungsverlaufes gleich, welche letzterem eine lineare Zeitprogression zugrunde liegt.

In einem Kraft-Dehnungs-Diagramm überlagern sich also verschiedene Effekte, weshalb das Lastdehnungsverfahren vorzuziehen wäre (HIRSCH, 1956, 33).

Der große technische Aufwand der Geräte ist gerechtfertigt, denn leider ergeben Messungen der Kraft und der Dehnung des Haares allzu- leicht unbrauchbare Werte. Um vergleichbare Diagramme zu erhalten, müssen nicht nur die Luftfeuchtigkeit, Dehnungsgeschwindigkeit und andere äußere Bedingungen konstant gehalten, sondern darüber hinaus bestimmte Absolutwerte der Dehnungsgeschwindigkeit und der Ruhezeiten zwischen den Diagrammen gewählt werden. Nur so können Abweichungen, die vor allem aus der Beanspruchung der Haare durch den Dehnvorgang selbst resultieren, in erträglichen Grenzen gehalten werden (FUHRMANN und RICHTER, 1955, 21).

Die Bestimmung der Festigkeit geschieht also mit Geräten, die entweder eine zeitlich konstante Belastungszunahme oder eine zeitlich konstante Dehnungszunahme oder aber eine konstante Geschwindigkeit der ziehenden Klemme gewährleisten. Es erfolgt die Prüfung entweder an einer Einzelfaser bzw. Haar oder aber die Prüfung erfolgt im Bündel. Letzteres wird besonders in der Textilindustrie gemacht.

Es seien zuerst noch einige ältere Methoden erwähnt. Sehr zuverlässige Ergebnisse bekommt

man bei den Geräten, die die auf das Haar ausgeübte Kraft durch das Prinzip der Waage übertragen.

Haardehnungsapparat nach MENSCHEL:

Zwischen zwei Klemmen wird ein Haar von bestimmter Länge eingespannt. Die Klemmen, die es festhalten, haben im Innern eine Reihe quere, abgestumpfte Zahnungen. Sie ermöglichen es, daß das Haar auch bei weitgehender Belastung nicht aus der Klemme herausrutscht. Die Klemme selbst wird durch eine Schraube fest zusammengehalten. Die obere Haarklemme wird durch einen Draht befestigt. Die untere ist an ihrer Rückseite noch mit einem zweiten Schraubchen versehen, worunter ein Aluminiumquerbalken aufgeschraubt wird. Ehe man den Aluminiumquerbalken aufsetzt, läßt man die Haarklemme durch ein Glasrohr, das eben hierfür durchgängig ist, mit eingespanntem Haar hindurchgleiten. Mit aufgeschraubtem Querbalken ist die untere Haarklemme genau wie die obere mit einem kleinen Drahtaken versehen. Das ganze Pendel (untere Haarklemme mit Querbalken, mit Drahtähkchen und Waageschälchen) gleitet bei Belastung (Aufsetzen von Gewichten auf das Waageschälchen) gesetzmäßig an einem links und rechts stets gleichmäßig eingestellten Zentimetermaß vorbei.

Man kann bequem rechts und links die Dehnungsausschläge in Zentimetern und Millimetern messen. Für den übersichtlichen Ablauf der Haardehnung hatte es sich als zweckmäßig herausgestellt, alle 5 Minuten um je 2 g zunehmend zu belasten. Vor der jeweiligen neuen Belastung wird abgelesen, um wieviel das Haar bei Nichtbelastung zurückschnellt (Elastizität) (MENSCHEL, 1925, 51).

Der von CAJKOVAC verwendete Apparat ist der modifizierte MENSCHEL'sche Apparat mit einer anderen Form des Hakens zur Befestigung der Haare. Das Röhrchen um das Haar wurde weggelassen. Zur Messung der Dehnung und Reißfestigkeit wurden zwei bewegliche Skalen angebracht. Die Versuche wurden durchgeführt an Haarbüscheln von 10 Einzelhaaren. Zu diesem Zweck wurden an beiden Enden des Haares durchlöcherter Schrotkügelchen von genügend gleichem Gewicht befestigt. Das Haarbüschel mit dem angebundenen Schrot ist über zwei dichte Kämme gespannt und bei gleichem Abstand der einzelnen Haare mittels einer Schraube zwischen zwei Blättchen, die das Häkchen darstellen, geklemmt. Nachher wird der

Schrot auf beiden Seiten des Häkchens abgeschnitten und an das untere Häkchen eine Belastungsschale befestigt (FRIEDERICH und FROB, 1950, 20).

Die Versuchsanordnung von MARCHIONINI und ARETZ besteht in Abänderung des MENSCHEL-Apparates aus einer Aufhängevorrichtung, die vor einer Meßskala angebracht ist. Das 3 cm lange, papillennah abgeschnittene Haar wird zwischen zwei geriffelte Klemmen eingespannt, wobei die obere Klemme fest mit dem Gerüst verbunden ist, während die untere beweglich an der dem Klemmbacken entgegengesetzten Seite ein Schälchen trägt, das die Gewichte aufnimmt. Durch Auflegen steigender Gewichte (5 g) wird das Haar steigend belastet (alle 15 sek.), bis es reißt. In jedem Fall wird der Mittelwert aus 8 bis 10 Einzeluntersuchungen gewonnen (MARCHIONINI und ARETZ, 1934, 45).

BASLER gab zur Messung der mechanischen Eigenschaften der Haare folgende Methode an:

An einer Waage wird eine Schale entfernt und an ihrer Stelle eine Klammer mit Hilfe eines kleinen Galgens zur Aufnahme des Haares so befestigt, daß ihr freies Ende in der Höhe des Wägebälkchens steht.

Eine gleichartige, in der Richtung von oben nach unten verschiebbare Pinzette liegt vertikal unter ihr. Da die Pinzette und der Galgen leichter sind als die Waagschale, wird an den Waagebalken noch ein Zusatzgewicht angehängt, durch das durch geringfügige Verschiebungen desselben, das Gleichgewicht hergestellt werden kann. Das 3 cm lange Haar wird nun zwischen die beiden Pinzetten eingespannt und entsprechend den in die Waagschale gelegten Gewichten gedehnt. Zur Bestimmung der Verlängerung, die nur Bruchteile eines Millimeters mißt, ist vor dem oberen Ende eines Haares ein mit Trieb versehener horizontal stehender Mikrotubus angebracht, der mit einem Objektiv LEITZ 2 und Okular LEITZ 2 versehen ist. In das Okular wurde des weiteren ein Okularmikrometer eingelegt, bei dem ein Teilstück 0,032 mm entspricht. (BASLER, Zit. nach FRIEDERICH und FRÖB, 1950, 20).

Die oben aufgeführten Methoden sind mit behelfsmäßigen Apparaten durchgeführt und weisen eine große Fehlerquelle auf. Sie zeigten auch zum Teil widersprechende Meßwerte an (FRIEDERICH und FRÖB, 1950, 20).

In der Textilindustrie benützte man den SCHOPPER'schen Feinfaserfestigkeitsprüfer. Die Kraftmessung erfolgt bei diesem Gerät durch eine in Schneiden gelagerte Neigungswaage. An einem Kreissegment des Gewichthebels ist die oberste Einspannklemme aufgehängt. Der zwischen der unteren und der oberen Klemme eingespannte Prüfling hebt, da sich die untere Klemme abwärts bewegt, den Gewichtshebel an, und je größer dessen Ausschlag gegenüber der senkrechten Nulllage ist, desto stärker ist die Zugspannung im Prüfling. Die Dehnung wird an einer linear geteilten geraden Teilung abgelesen und kann durch ein Meßmikroskop in entsprechender Vergrößerung abgelesen werden.

Die Einspannklemmen für das Haar sind so ausgebildet, daß man längere Fasern, ohne sie vorher in Papierrähmchen einkleben zu müssen, ohne weiteres einspannen kann. Der Antrieb der unteren Klemme erfolgt durch Druckwasser. Die Geschwindigkeit der unteren Einspannklemme erfolgt bis zum Bruch, die maßgeblich ist für die mittlere Zerreißdauer; sie beträgt jeweils 20 sec.. Die Einflüsse wie Dehnungsgeschwindigkeit usw. sind dadurch weitgehend ausgeschaltet (FRIEDERICH und FRÖB, 1950, 20).

Nach dem Prinzip der Torsionswaage arbeitet
das Feinfaserprüfgerät nach FRANK.

Ein Waagebalken, der auf Schneiden gelagert ist, trägt auf der einen Seite eine Einspannklemme, während auf der anderen Seite das freie Ende einer Spiralfeder in eine Kerbe eingreift. Die Torsionsfeder ist fest mit der Achse verbunden und wird durch einen Elektromotor gespannt. Damit dies mit jeder beliebigen Geschwindigkeit geschehen kann, ist das zwischen Motor und Übertragungsradern eingebaute Getriebe stufenlos regelbar. Diese Teile sind im Getriebekasten untergebracht. Die in der Torsionsfeder erzeugte Kraft wirkt auf die zwischen den Klemmen eingespannte Faser und bewirkt deren Längung. Die Einspannlänge beträgt 10 mm, die benötigte Faserlänge 25 mm.

Da nur in der Nullstellung des Waagebalkens die Kraft der Torsionsfeder proportional der Drehung der Achse ist, muß unter gleichzeitiger Beobachtung des Zeigers durch eine Lupe die untere Klemme, die zu diesem Zweck in ihrem Schaft ein Schraubengewinde trägt, um den Betrag der Längung der Faser nach unten bewegt werden. Die hierzu nötigen Umdrehungen der Handkurbel werden mittels Zahntrieb

gleichzeitig auf die Registriertrommel und auf ein Zählwerk übertragen. Die auf die Fasern wirkenden Kräfte sind in diesem Fall dann proportional der Aufwärtsbewegung des Seilzuges bzw. der Drehung der Seilscheibe und werden durch die Feder aufgezeichnet und durch den Zähler registriert. Dabei sind die Festigkeits- und Dehnungsschreiber derart mit der Einschaltvorrichtung verbunden, daß sie nur in der Zeit betätigt werden können, während welcher die Feder gespannt ist.

Eine interessante Neuerung ist die Anordnung zum Einspannen der Torsionsfeder bei diesem Gerät zur Bestimmung des Drehmomentes (FRANK, 1951, 17).

Bei dem von OSUMI GOHACHI und KATO ETSURO (1938, 24) entwickelten Dynamometer erfolgt die Kraftübertragung durch eine Feder.

Die zu prüfende Faser wird zwischen zwei Klemmen eingespannt, von denen die untere durch ein Getriebe mit gleichmäßiger und einstellbarer Geschwindigkeit nach unten gezogen wird, während die obere so angeordnet ist, daß sie mit einem Draht verbunden ist, der waagrecht ausgespannt ist und der von Hand aus verdreht werden kann.

Wird durch die untere Klemme ein Zug auf die Faser ausgeübt, so wird sie auch entsprechend der Durchfederung die untere Klemme etwas durchbiegen.

Man würde deshalb nicht ohne weiteres die Dehnung ablesen können. Um diese obere Bewegung der Klemme zu kompensieren, ist die Verbindung mit dem waagrecht gespannten Draht durch einen langen Hebel geschaffen worden. Während der Belastung muß man immer durch Verdrehen eines Knopfes die obere Klemme in ihrer richtigen Lage halten. Es ist ein optisches Gerät am Faserprüfer mit angebracht, durch das man die genaue Einhaltung der Lage der oberen Klemme beobachten kann. Die Dehnung und Belastung wird auf einer Trommel selbsttätig aufgezeichnet.

1863 entwickelte CHARLES O'NEILL ein nach dem hydrostatischen Prinzip arbeitendes Gerät. Es befindet sich die untere Einspannklemme an einem Schwimmer. Durch Sinken des Wasserspiegels wird die Faser belastet (GOHADI und KATO, 1938, 24).

Eine elektronische Festigkeitsprüfmaschine zeichnet sich dadurch aus, daß die obere Klemme mit einer auswechselbaren Biegefeder in Verbindung steht, an der eine Tauchspule befestigt ist, die sich im Luftspalt eines Elektromagneten bewegt. Die Zugkraft wird von einem elektronischen Kompensographen angezeigt. Es handelt sich hierbei um ein Gerät mit wegarmen Kraftmessung (FRENZEL, 1959, 18).

Dehnungskurven nach RICHARD:

Prinzip der zeitlich konstanten Kraftzunahme.

Die auf die Probe, mit einer Einspannlänge von 10 cm Länge, einwirkende Kraft wächst proportional mit der Zeit entsprechend dem festgelegten Vorschub. Die Schreibtrommel dreht sich entsprechend der Zunahme der einwirkenden Kraft und über ein Hebelsystem wird die Dehnung über der Kraft aufgezeichnet. Hierbei muß allerdings in Kauf genommen werden, daß die Koordinate für die Dehnung nicht auf einer Geraden, sondern praktisch auf Kreisbögen aufgezeichnet wird (JUILFS, 1960, 38).

Ein neues vielseitiges Prüfgerät in der Textilindustrie ist der "Optimal-Drehungszähler".

Er kann grundsätzlich für verschiedene Einspannlängen geliefert werden. Dabei ist durch die Verschiebbarkeit der mittleren Klemmengruppe die Möglichkeit gegeben, die Einspannlängen der Aufdreh- und Zudrehseite zu variieren.

Es ist Handbetrieb vorgesehen. Bei den Drehklemmen, welche aus Zahnrädern bestehen, die eine konische Bohrung aufweisen, kann die Faser durch einen zwischen zwei Zähnen liegenden Schlitz eingeführt und mit konischen Nylonstiften festgehalten werden. Die Exzenterklemmen an den Belastungshebeln gestatten ein äußerst rasches Klemmen der Fasern. Die Fasern werden in einer linken Exzenterklemme festgehalten, in der Mitte durch den Schlitz gelegt, rechts ebenfalls eingeklemmt und nach Legen einer kleinen Schlaufe, wiederum in den nächsten rechten Hebel eingeklemmt, bis alle Prüflängen mit Fasern versehen sind. Dabei sollte auf die gleichmäßige Spannung der Fasern geachtet werden. Es wird die Festigkeit in "Funktion der Drehung" bestimmt. Die Faser erhält auf der einen Seite Zusatzdrehungen, auf der anderen werden Drehungen weggenommen,

bis diejenige Belastung erreicht wird, die mit den Gewichten eingestellt wurde. Nach dem Reißen jeder einzelnen Faser wird die Drehung an einem Zähler abgelesen und der Mittelwert aus 10 Messungen ist sofort errechenbar.

Weitere Meßmöglichkeiten ohne Zusatzgeräte: Die Gewinnung der Belastungs - Dehnungskurve ist ohne weitere Zusatzgeräte leicht möglich. Mittels eines Maßstabes wird die Ausgangslänge festgehalten, dann werden die Schrauben der Belastungsgewichte gelockert und durch Hinausschieben der Gewichte die Belastung sukzessive erhöht, wobei die Länge der Fasern immer wieder gemessen wird.

Es kann auch die Verkürzung oder die Verlängerung der Faser durch Auf- und Zudrehen auf die gleiche Art gemessen werden, indem die Längenmessungen jeweils nach der Drehungsgebung im gleichen Sinn vorgenommen werden.

Prüfungsmöglichkeiten unter Verwendung von Zusatzgeräten:

1. Festigkeitsbestimmung, Wechsellastprüfung:

Mit dem vorliegenden Meßgerät kann mittels Zusatzvorrichtungen auch die Festigkeit gemessen werden, oder es kann eine Wechsel-

beanspruchung entweder zwischen zwei vorbestimmten Dehngrenzen oder einer unteren festen Dehngrenze und einer oberen Grenze konstanter Belastung ausgeführt werden.

2. Kombinierte Wechsellast-Torsionsbeanspruchung ist ebenfalls möglich (DUBACH, 1957, 16).

Automatisches Einzelfaser-Reißgerät:

Die Faser wird hierbei zwischen zwei Einspannblättchen befestigt und diese Blättchen in einen Kanal so eingehängt, daß das obere Blättchen geführt und das untere frei nach unten hängt. Die Einspannung und die Prüfung selbst erfolgt völlig automatisch. Die Ergebnisse werden aufgezeichnet. Der Titer der Faser wird vorher mit einem Vibroskop ermittelt.

Die Muster werden dann, wie oben beschrieben, in den Zuführungskanal eingehängt und zwar so, daß das untere Ende ohne Führung ist.

Die Einspannung in die Dehnungsvorrichtung erfolgt selbsttätig, nachdem der Prüfende den Druckknopf für die Ingangsetzung betätigt hat. Mit diesem Gerät kann man in der Stunde maximal 30 - 40 Einzelfaseruntersuchungen vornehmen (CRANE und WHARFF, 1958, 14).

Schnellzerreißapparat:

Er arbeitet mit einer vorgespannten Druckfeder und Öldämpfung als Antriebsorgan für die abziehende Klemme. Hiermit werden weitgehend konstante Dehnungsgeschwindigkeiten erreicht. (Dehnungsgeschwindigkeiten zwischen 0,04 und 1600 % sec.).

Die zu prüfende Faser wird als Schlinge um die Führungsrolle eines Fadenspannungsmeßkopfes gelegt. Man vermeidet dadurch unnötige Massen für eine Klemmvorrichtung am Meßelement und erhält die doppelte Meßkraft, sowie bei gleicher Einspannlänge die doppelte relative Dehnungsgeschwindigkeit gegenüber der üblichen einfachen Einspannung. Der mechanische, elektrische Fadenspannungsmeßkopf, sowie ein mit der Abzugsvorrichtung gekoppelter Schleifkontakt, der auf einem Widerstandsdraht entlangfährt, steuern einen Zweistrahlenkathodenszillographen mit photographischer Registriereinrichtung.

Schnellzerreißungen entsprechen funktionsmäßig den üblichen Zerreißvorgängen, laufen jedoch mit höheren Geschwindigkeiten als diese ab (MARTIN, 1959, 50).

Mikrogerät nach CHEVENARD:

Es ist ein universelles Präzisionsreißgerät

zur Festigkeitsprüfung von Fasern. Es eignet sich sehr gut zur Bestimmung der Elastizität von Fasern unter verschiedenen Belastungsbedingungen. Kraft und Dehnung werden nicht wie üblich von einer Skala, sondern von einem Diagramm abgelesen, das auf einem Photopapier registriert wird. Das Mikrogerät besteht aus einer Einrichtung zur Verstreckung des Prüflings und der Photokamera mit dem Schirm, auf dem das Diagramm aufgezeichnet wird.

Der Prüfling wird in die beiden Klemmen eingespannt. Eine Klemme ist mit einem auswechselbaren Balken verbunden, der der maximalen Belastung angepaßt ist. Die andere Klemme dagegen ist beweglich und überträgt die Spannkraft. Ihre Geschwindigkeit wird stufenlos über ein Zahnradgetriebe von einem Kommutator-Elektromotor geregelt. Unter dem Einfluß, der während der Verstreckung des Prüflings ausgeübten Kraft, wird der Balken entsprechend durchgebogen. Die Veränderungen der Entfernungen zwischen den beiden Klemmen sind das Maß für die erreichte Dehnung.

Die beiden gleichzeitig eintretenden Bewegungen (Durchbiegung des Balkens und Verschiebung der bewegbaren Klemme im Verhältnis zur Fixklemme), die die Abhängigkeit der Kraft

von der Dehnung ergeben, werden durch einen Lichtstrahl registriert, der entsprechend der Bewegungen der zusammenwirkenden Kräfte von einem sich selbsttätig einstellenden Spiegel reflektiert und auf ein Photopapier oder auch auf eine Mattscheibe gelenkt wird. Mit Hilfe einer Umrechnungsskala können vom Diagramm die Werte für Kraft und Dehnung abgelesen werden.

Das Gerät eignet sich vornehmlich für die Forschung. Die gewonnen Ergebnisse sind insofern wertvoll, als man den Ablauf der Belastungs-Dehnungskurve sehr genau ablesen kann. Man verwendet diese Kurve vorwiegend bei Untersuchungen über die Elastizität und den Ermüdungswiderstand, wenn Verstreckungskräfte niederer Frequenz auftreten. Hier bedient man sich der Vorrichtung, die die Hysteresisschleife bei Annahme der Dehnung oder der Belastung aufzeichnet (KARCZEWSKI, 1960, 41).

Trägheitslose Bestimmung des Spannungs-Dehnungs-Verlaufs:

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Meßverfahren sowie eine Einrichtung zu schaffen, die eine trägheitslose Bestimmung des Spannungs-Dehnungs-Verlaufes bei Fasern oder

oder dergleichen ermöglichen. Erfindungsgemäß wird vorgeschlagen, daß die Faserspannung oder die Faserdehnung durch Messen des jeweiligen elektrischen Widerstandes eines in Abhängigkeit von der jeweiligen Faserspannung bzw. Faserdehnung verschieden gelängten elektrischen Leiters bestimmt werden.

Die Faserspannung bzw. Dehnung wird auf eine Blattfeder übertragen, deren durch die jeweilige Spannung bzw. Dehnung hervorgerufene Durchbiegung zum Längen des auf der Blattfeder angeordneten elektrischen Leiters und damit zu dessen Widerstandsänderung benützt wird. Die Faserspannung und die dadurch hervorgerufene Faserdehnung werden durch die gleichzeitige Widerstandsmessung zweier sich unter dem Einfluß der jeweils angreifenden Faserspannung und Dehnung unabhängig voneinander längender elektrischer Leiter bestimmt. Die dabei ermittelten paarweise zusammengehörigen Meßwerte werden in einem entsprechend geeichten Meß- oder Registrierinstrument, beispielsweise in einem Kathodenoszillographen, angezeigt und gegebenenfalls auf einer photographischen Platte festgehalten (JUILFS, 1963, 39).

Dauer-Wechsel-Zugprüfer:

Unter dynamischer Belastung versteht man die Beanspruchung eines Körpers mit wechselnder Belastungshöhe bei verschiedener Frequenz. Der Belastungszyklus kann also die verschiedensten Formen aufweisen.

In der dynamischen Prüfung wird vorwiegend mit der sinusförmigen Beanspruchung gearbeitet, weil diese am einfachsten zu verwirklichen ist. Da in der dynamischen Prüfung sehr viele Parameter auftreten, ist die Vielfalt der Prüfgeräte ziemlich groß.

Die möglichen Kenngrößen der dynamischen Prüfung:

Lebensdauerprüfung und Beurteilung folgender Eigenschaften nach bestimmten Lastwechselzahlen:

Dehnung,
Festigkeit,
Hysteresisschleife,
Elastizitätsmodul usw.

(BAUER und WINKLER, 1964, 1).

Die Aufgabe des neu entwickelten Spannungs-Dehnungsmessers ist es, nicht nur die Dehnung,

sondern auch die Dehnungsänderungen in Abhängigkeit von der Belastung bzw. von der Zeit zu bestimmen.

Nachdem von den bisherigen Methoden abweichenden Verfahren des Verfassers, wird neben der Spannungs- bzw. Zeit-Dehnungskurve auch noch die dazugehörige spannungs- bzw. zeitabhängige Dehnungsänderung ermittelt. Dieser entspricht die Erkenntnis, daß gerade die, während der Verformung auftretenden Zustandsänderungen mit dazu beitragen können, bislang unbekannte Vorgänge im Innern einer Faser aufzuzeigen.

Es sind Untersuchungen nach zwei Belastungsfällen möglich:

1. Untersuchung nach dem Prinzip der gleichmäßig zunehmenden Zugbelastung (Kurzzeitversuch). Hierbei wird in gleichen Zeitintervallen Δt die Belastung um gleiche Beträge ΔK geändert.
2. Untersuchung nach dem Prinzip der konstanten Zugbelastung (statischer Dauerstandsversuch).

Hierbei wirkt auf den Faden eine konstante Belastung K ein.

In beiden Fällen ergeben sich weitgehende Variationsmöglichkeiten. Man kann ändern die Einspannlänge der Faser, die Größe der Belastungsänderung, die Größe der konstanten Belastung, die Größe des Zeitintervalles.

Der Spannungs-Dehnungsmesser ermöglicht für den ersten Fall die gleichzeitige Ermittlung von Belastungs-Dehnungskurven und Belastungs-Dehnungsänderungs-Kurven, wobei sich die Belastung proportional mit der Zeit ändert. Für den zweiten Fall ermöglicht er die gleichzeitige Ermittlung von Zeit-Dehnungs-Kurven und Zeit-Dehnungsänderungs-Kurven, wobei die Belastung konstant ist.

Der Spannungsmesser für statische Untersuchungen besteht aus:

- a) der Belastungs- und Dehnungsvorrichtung,
- b) Registriervorrichtung,
- c) der Antriebs- und Schaltvorrichtung.

ad a) Die notwendigen Elemente sind die beiden Einspannklemmen, das Stahlband, die feste Rolle, das Belastungsgefäß, die Mariotte'sche Flasche und die Düse, die mittels eines Gummischlauches mit der Mariotte'schen Flasche in Verbindung steht.

Das Stahlband verbindet die Klemme mit dem Belastungsgefäß.

Zur Belastung dient Aqua destillata, das während des Versuches aus der Mariotte'schen Flasche in das Belastungsgefäß fließt.

Die eintretende regelmäßige Gewichtszunahme des Belastungsgefäßes verursacht eine Drehung der Rolle im Uhrzeigersinn. Dieser Bewegung wirkt der Formänderungswiderstand der zwischen den Klemmen eingespannten Faser entgegen. Reicht er nicht aus, um die Belastung zu tragen, so dehnt sich die Faser und die Rolle dreht sich proportional zu seiner Längenänderung. Bei genügend hoher Belastung tritt schließlich der Zeitpunkt ein, in dem die Faser der Formveränderung keinen größeren Widerstand mehr entgegensetzen vermag und zu Bruch geht.

In diesem Augenblick fällt das Belastungsgefäß nach unten. Ein elektromagnetisch gesteuertes Ventil gewährleistet ein exaktes Einsetzen und Unterbrechen des Wasserzulaufes.

- b) Das Registrieren der Meßwerte erfolgt durch Lichtstrahlen, die auf eine mit photographischem Papier bespannte Trommel Diagramme aufzeichnen.

Es werden registriert:

1. die Verlängerung der Faser,
2. die in der Zeiteinheit eingetretenen
Verlängerungsänderungen (Differenz-
quotient),
3. die Zeit.

ad c) Zum Antrieb des Gerätes wird Wechsel-
strom verwendet (WEGENER, 1951, 63).

Gerät mit gleichzeitiger Kraft- und Dehnungsan-
zeige:

Das Prüfverfahren erfolgt in der Weise, daß die obere Einspannklemme mit einem als Kraftanzeiger, die untere mit einem als Dehnungsanzeiger dienenden Waagearm verbunden ist. Von den sich ergebenden Meßwerten werden durch Lichtimpulse unter Verwendung von Photozellen und entsprechender Verstärkung Zählerwerke gesteuert.

Bei Eintreten des Faserbruches, das heißt, mit Beginn des Rückganges des Kraftanzeigers, unterbricht ein an diesem angebrachter Schleppkontakt den Stromkreis der Lichtquellen der photoelektrischen Einrichtung. Die Prüfeinrichtung arbeitet so, daß an den äußersten Enden des Kraftanzeigers und des Dehnungsanzeigers Bogenstücke mit Skaleneinteilung in Form von gleichmäßig ausgefrästen

Stegen angebracht sind, die sich zwischen Sendern und Empfängern der photoelektrischen Einrichtung bewegen. Dadurch werden die Lichtstrahlen der Sendelampen durch die Stege regelmäßig unterbrochen.

In den Photozellen werden Stromimpulse erzeugt, die über Verstärker auf Zählwerke übertragen werden, bis der am Drehpunkt des Kraftanzeigers isoliert angebrachte Schleppkontakt den Stromkreis der Sendelampen unterbricht (MÖSSMER, 1956, 53).

Harfenreißgerät:

Prinzip:

Bei diesem Gerät werden eine Schar paralleler, sich nicht berührender Fasern zwischen zwei Klemmen befestigt. Diese Fasern werden dann gleichzeitig mit gleicher Dehnungsgeschwindigkeit beansprucht, wobei mit der abziehenden Klemme ein Meßstreifen starr verbunden ist, auf dem automatisch durch den Kraftmesser des Gerätes Meßpunkte markiert werden, aus denen nach dem Meßvorgang die Kraft-Dehnungskurve konstruiert wird.

Auf dem Meßstreifen können von Hand während des Dehnungsvorgangs Markierungspunkte aufgetragen werden, die dazu dienen, einen bestimmten Faserbruch, z. B. den Bruch der 5. Faser, zu kennzeichnen. Da die Klemme, die mit dem Kraftmesser verbunden ist, vernachlässigbar kleine Wege zurücklegt, ist das Harfenreißgerät eine Prüfvorrichtung mit konstanter Dehnungsgeschwindigkeit.

Die Meßvorrichtung hat zur Zeit noch Mängel, die die Auswertungsmöglichkeit einschränken, und zwar zeichnet der Kraftmesser des Gerätes nach dem Einsetzen des Bruchvorganges die Kraftwerte nicht regelmäßig und einwandfrei auf.

Die Resultate ermöglichen eine einwandfreie Vergleichsmöglichkeit mit den Einzelmessungen von Schopper-Geräten, wo zu beachten ist, daß dieser Pendelgerätetyp (Schopper) infolge der Trägheitswirkungen als Bezugsinstrument durchaus nicht zweckmäßig ist.

Auswertung:

Man geht von der selbstverständlichen Tatsache aus, daß alle Fasern gleich gespannt sind und gleichmäßig gedehnt werden, so daß die mit der geringsten Dehnung auch die ersten Faserbrüche ergeben und notiert z. B.

bei 100 Fasern den 5., 10., sowie den 90. Faserbruch. Die Bruchdehnung bei 5 % Faserbruch bezeichnet man mit D_5 , die Bruchdehnung bei 10 % Faserbruch entsprechend mit D_{10} . Entsprechend bezeichnet man die zugehörige Kraft des Kollektivs nach 5 % Faserbruch mit F_5 .

Die mittlere Bruchdehnung D_m ist dann gegeben durch den Ausdruck

$$D_m = \frac{D_{10} + D_{90}}{2}$$

(MESKAT, 1957, 52).

Aufbau des Harfenreißgerätes:

Zwischen zwei Klemmen sind die Fasern eingespannt. Eine Klemmleiste ist die gezogene, die andere die zu ziehende bzw. angetriebene. Eine Schreibtrommel mit 120 mm Durchmesser wird über Seilzüge mit der angetriebenen Klemme der Harfe bewegt. Eine Dehnung der Harfe von 5 mm gibt eine Bogenlänge der Trommel von 10 mm. Somit ist unter Beachtung von 500 mm Einspannlänge 1 cm auf dem Registrierpapier gleich 1 % Dehnung. Hierbei darf mit Recht davon ausgegangen werden,

daß die Einspannklemme A nur einen vernachlässigbar kleinen Weg macht. Dieser kleine Weg wird durch entsprechende Übersetzungen auf einen Biegestab übertragen und dient zur Kraftmessung.

Praktisch arbeitet also das Harfenreißgerät mit konstanter Dehnungszunahme, wogegen andere Prüfgeräte mit konstanter Lastzunahme arbeiten.

Das Pendelwaagensystem (Schopper) hat weder konstante Dehnungszunahme noch konstante Lastzunahme. Seine Wirkungsweise ist materialabhängig. Ohne auf diese Unterschiede näher einzugehen, sei herausgestellt, daß sie auf die Meßwerte keinen Einfluß haben, wenn die Kraft-Dehnungslinie linear verläuft (was bei Haaren nicht der Fall ist)!

Den vorgenannten Eigenarten der Reißapparate überlagert sich die Massenwirkung, die je nach der Prüfapparatekonstruktion mehr oder weniger stark ins Gewicht fällt. Es ist grundsätzlich anstrebenswert, große Kräfte bei geringer Massenbewegung zu beherrschen.

Das ist beim Harfenreißgerät mit Hilfe des Biegestabes weitgehend gelöst. Die Auslenkungen des Biegestabes, entsprechend der Kraftzunahme des Harfenreißgerätes, werden mit einer Mikrometer-Tastuhr gemessen. Die Mikrometeruhr ist über ihren Umfang mit 40 Kontakten gleichmäßig besetzt. Von hieraus werden die Kraftwerte morseartig auf das Diagrammpapier der Registriertrommel übertragen. Der Stromimpuls wird durch den Zeiger der Mikrometeruhr ausgelöst und betätigt verschiedene Schreiber eines Registriergeräts (WILHELM und REINSHAGEN, 1957, 65).

Bündelfestigkeitsprüfer:

Es werden die Fasern im Bündel dem Zugversuch unterworfen. Der wesentliche Vorteil ist dabei, daß man mit wenigen Bündelversuchen dieselbe Aussagesicherheit erzielen kann wie mit 50 - 100 Einzelfaserprüfungen. Voraussetzung dafür ist, daß die Streuung der Bündelprüfwerte entsprechend geringer ist als die Streuung der Einzelfaserwerte. Das hängt in der Hauptsache davon ab, wie

es gelingt, den Fasern im Bündel eine solch gleichmäßige Lage und Vorspannung zu erteilen, daß sich die beim Zugversuch aufzunehmende Kraft möglichst gleichmäßig auf alle Fasern verteilt. Deshalb muß auch der Vorbereitung der Bündel besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Der PRESSLEY-TESTER ist das meistverbreitete Bündelprüfgerät. Die Belastung wird hier erzeugt durch ein auf einem Hebelarm abrollenden Gewicht und wird auf die obere Klemme übertragen. Das Gerät besitzt aber zahlreiche Mängel.

Der CLEMSON-TESTER ist ähnlich dem PRESSLEY-TESTER. Es werden gleiche Einspannklemmen benutzt. Es ist jedoch eine Variierung der Einspannlängen von 0 bis 100 mm möglich (GEITEL, 1962, 22).

Das Stelometer: es werden auch die PRESSLEY-Klemmen angewendet. Es kann aber neben Festigkeit auch die Dehnung ermittelt werden (HADWICH, 1957, 26).

Bonitierungsmethode:

Prinzip:

Die Lastenvermehrung wird nicht mehr in gleichen

Zeitintervallen vorgenommen, sondern das Haar erst dann neu belastet, wenn der jeweilige relative Gleichgewichtszustand erreicht ist, sich also das Haar unter der alten Last nicht mehr dehnt. Für diese Methode wird die FUVA-Waage empfohlen (Hebelwaage).

Diese Methode gewährt äußerst subtile Einblicke in die Mechanik der Haardehnung bis zur Reißgrenze und ermöglicht so nicht nur vergleichende Untersuchungen der einzelnen Haararten, sondern auch genaue vergleichende Untersuchungen nach Einwirken von Substanzen verschiedenster Art auf das Haar, sowie auf die Beeinflussung des Haares durch endogene Faktoren.

Es steht zu erwarten, daß mit dieser Methode nicht nur wertvolle Erkenntnisse für die Haarkosmetik, sondern auch für die Physiologie und Pathophysiologie der Haare, für die Strukturforschung und für die Kriminalistik gewonnen werden können (RICHTER, 1963, 59).

Methode:

Da die Methoden (Zeit-Dehnungskurven, Relaxationsmessungen, Reißfestigkeitsmessungen)

nur die Ermittlung von Teilen der Fasercharakteristik zulassen und den Kraft-Dehnungsdiagrammen Mängel anhaften, arbeitete HIRSCH die Last-Dehnungsmethode zur sog. "Bonitierungsmethode" weiter aus. Bei Gewichtsanhängung stellt sich nach anfänglicher Dehnung des Haares allmählich ein Gleichgewichtszustand ein, von dem ab sich das Haar nicht mehr verlängert. Innerhalb eines Versuches ändern sich die Zeiten, die bis zur Erreichung dieser Längenkonstanz verstreichen. Bei niedrigen Laststufen stellt sich das Haar schnell auf seine neue Länge ein. Ab einem gewissen Punkt jedoch erzeugt schon eine nur geringfügige Erhöhung der Last ein langwährendes Dehnen bzw. "Fließen" bis zum Dehnungsstillstand. Hat man dieses Fließgewicht überwunden, so treten wieder schneller reagierende Zonen auf, bis das Haar endlich reißt.

Es war daher naheliegend, die Lastenvermehrung nicht mehr wie bisher in gleichmäßigen Zeitintervallen vorzunehmen, sondern an das Haar erst dann ein neues Gewicht anzuhängen, wenn der jeweilige

relative Haltepunkt erreicht ist.

Die Ausführung erfolgt mit der FUVA-Waage. Man beginnt die Messung, indem man auf die Waagschale das erste 5 g Gewicht legt. Man wartet mit der Ableseung, bis sich das Haar ausgedehnt hat und sich der Zeigerabstand innerhalb von 20 sec. nicht mehr merklich verändert. Während man das nächste 5 g Gewicht auf die Waagschale legt, drückt man den Zeiger mit dem Daumen gegen die Längenskala und sorgt dafür, daß bei Wegnahme des Daumens dem Haare jede Erschütterung erspart bleibt.

Von 5 g zu 5 g fortschreitend belastet man die Waagschale immer mehr, stets darauf achtend, daß vor Ablesung der Dehnung der Zeigerstand 20 sec. unverändert geblieben ist.

Die Kurve steigt dann zunächst gleichmäßig an, das heißt die Dehnung ist der Belastung proportional, solange man sich im hochelastischen Gebiet der sog. Anfangsdehnung befindet.

Hier gilt das HOOKE'sche Gesetz, wonach "die Formveränderungen durch nicht zu große formverändernde Kräfte den letzteren proportional sind".

Ab einer für jedes Haar spez. Belastungsgröße tritt eine auffällige Vergrößerung der Dehnbarkeit auf. In diesem Gebiet der plastischen Deformation, das wir Mitteldehnung nennen, hat man länger zu warten, bis sich das Gleichgewicht eingestellt hat. Der Berührungspunkt zwischen Anfangs- und Mitteldehnung heißt Proportionalitätsgrenze. (Ab dieser Grenze erkennt man unter dem Mikroskop deutlich die teleskopartige Auseinanderbewegung der Cuticulaplättchen, zumal sich ab der Proportionalitätsgrenze die Cuticula von der Rindenschicht abzuspreizen beginnt).

Führt man mit der Auflage von 5 g Gewichten fort, so tritt bald ein neuer Kurvenknickpunkt auf, den man als Proportionalitätsgrenze bezeichnen kann, da von hier ab die Elastizitätsabnahme des Haares nicht mehr so stark voranschreitet, als das im Verlauf der Mitteldehnung der Fall war.

Trägt man nämlich die bleibende Dehnung (= den elastischen Rückstand = die Verlängerung des Haares gegenüber dem Urzustand nach völliger Entlastung und Ausruhen des gedehnten Haares) gegen die Last auf, so erhält man einen, dem Last-Dehnungsdiagramm ähnlichen Kurvenverlauf.

Die Enddehnung, der Kurvenast zwischen Plastizitäts- und Reißgrenze, gehorcht in den meisten Fällen wieder dem HOOKE'schen Gesetz. Der Reißpunkt wird durch graphische Extrapolation (Fortführung der sich aus den Messungen ergebenden Linie bis zur zuletzt aufgelegten Laststufe) ermittelt (HIRSCH, 1956, 34).

Untersuchung der Elastizität nach der Methode der Schwingungen:

Die Methode der Schwingungen kann dazu benutzt werden, um die elastischen Eigenschaften bei wiederholten und kurzfristigen Deformationen zu erforschen.

Meßverfahren:

Die elastische Probe wird in einer oberen Klemme befestigt und an ihrem unteren Ende wird ein Gewicht angehängt. Im Gleichgewichts-

zustand des Systems ist das Gewicht unbeweglich. Die Schwere des Gewichts ruft eine bestimmte Deformation der Probe hervor und wird durch die Elastizitätskraft im Gleichgewicht gehalten. Wenn man jetzt das Gewicht in senkrechter Richtung um eine kleine Strecke verschiebt und dann freigibt, wird es freie Schwingungen geringen Ausmaßes in der senkrechten Ebene ausführen. Es erfolgt eine mathematische Auswertung. Für die Durchführung der Versuche wurde eine besondere Apparatur mit optischer Aufzeichnung der Schwingungen entwickelt (GORDEEV, 1955, 25).

Einzelfaser-Kraft-Dehnungs-Prüfgerät:

Das Gerät ist so konstruiert, daß die Faser bei der Prüfung liegt, so daß man die Messungen auch in verschiedenen Medien durchführen kann. Im allgemeinen werden die Kraft-Dehnungslinien bei konstanter Kraftgeschwindigkeit ausgeführt, man kann aber auch mit konstanter Dehnungsgeschwindigkeit arbeiten. Die Kraft wird durch einen Torsionsdraht ausgeübt und die Dehnung durch einen

beweglichen Rechen. Die Kraft- und Dehnungseinheiten werden getrennt durch einen Zweiphasen-Synchronmotor angetrieben.

Die Kraft- und Dehnungsbewegungen werden durch eine Zwillingsphotozelle koordiniert (PREUSSER und O'CONNEL, 1954, 55).

Bestimmung der Elastizitätsgrenzlast:

1. Man kann sie mit Reißgeräten (z. B. SCHOPPER) bestimmen.

Die Elastizitätsgrenzlast läßt sich dadurch finden, daß man die elastische Dehnung als Differenz der Gesamtdehnung und der bleibenden Dehnung aus verschiedenen Messungen feststellt und die Faserbelastung in Abhängigkeit der dazugehörigen Dehnungswerte in einem Diagramm aufträgt.

Die stufenweise Aufstellung von Elastizitätsdiagrammen ist aber sehr zeitraubend. So wurde ein neues Meßgerät entwickelt.

2. Neues Meßgerät:

Ein einfacher Waagebalken, der von zwei Kugellagern getragen wird, hat auf der einen Seite eine in Gramm unterteilte Skala, auf der Gewichte verschiebbar angeordnet sind. Auf der anderen Seite dieses

Waagebalkens befindet sich eine Klemme zum Einspannen der Meßfeder und am äußersten Ende ein Zeigerbügel, der einer feststehenden Dehnungsskala die zur Belastung gehörige Dehnung in Prozent angibt.

Ein Arretierbügel, der leicht drehbar am Schaft des Gestelles angebracht ist, hat eine bestimmte Neigung, auf welcher der belastete Waagearm zwangsläufig abgleitet, wenn man diesen langsam freigibt.

Dadurch wird die Meßfaser mit genügender Gleichmäßigkeit belastet. Auf der Fußplatte des Meßgerätes ist die untere Einspannklemme mit dem Vorspanngewicht angebracht. Mit diesem Gerät kann die Fließgrenze (Elastizitätslast) ermittelt werden.

Bestimmung der Fließgrenze:

Die Faser wird zwischen die 500 mm von einander entfernten Klemmen eingespannt, wobei das kleine, bewegliche Gewicht an der unteren Klemme der Faser immer die gleiche Vorspannung gibt. Dann wird ein zunächst geschätztes Gewicht am Gewichtshebel eingerastet.

Durch Umlegen des Arretierhebels nach hinten, belastet man die Faser genügend gleichmäßig. Sobald der Waagebalken freischwebt, läßt sich die zur Belastung gehörende Gesamtdehnung in Prozent an der Dehnungsskala ablesen.

Nun wird der Arretierhebel in seine Ausgangsstellung zurückgeführt. Hängt die Faser noch gespannt zwischen den beiden Klemmen, so ist sie nur elastisch gedehnt worden. Man erhöht daher das Belastungsgewicht z. B. von 5 g zu 5 g und führt die Belastungsproben solange durch, bis die Faser anfängt, zwischen den Klemmen durchzuhängen. Man hat die Elastizitätsgrenze erreicht. Die Faser beginnt sich jetzt bleibend zu dehnen (HALBACH, 1953, 27).

Zerstörungsfreie Methoden nach HIRSCH:

Kreismethode:

Unter den zerstörungsfreien Methoden ist die Kreismethode (Cycle-method) die modernste. Man belastet ein Haar in konstanten Zeitintervallen mit immer größeren Gewichten und liest die jeweilige Dehnung ab. Nach Erreichen einer 30 %-igen Dehnung entlastet man das Haar allmählich in gleichen Zeitintervallen.

Die Dehnungen müssen im Wasser vorgenommen werden, dem nach einem vorangegangenen Blindversuch die zu testenden Chemikalien zugesetzt werden. Die von den beiden Kurven (Belastungs- und Entlastungskurve) eingeschlossene Fläche ist für die Beurteilung der Haare bzw. der Reaktion hauptsächlich maßgebend.

Außerdem beurteilt man die Steigung der einzelnen Kurventeile. Im Idealfall ist der "Kreis" geschlossen, d. h. Ausgangs- und Endpunkt des Diagramms fallen zusammen.

30 %-Methode:

Bei der 30 %-Methode bestimmt man die Kraft, die nötig ist, um ein Haar um 30 % seiner ursprünglichen Länge innerhalb einer bestimmten Zeit zu verlängern.

Gemäß der Formel

$$I = \frac{K_1}{K_0} \cdot 100 (\%)$$

kann man den 30 % - I n d e x eines unbe-

handelten mit dem eines chemisch behandelten Haares vergleichen.

(K_1 ist die Kraft, die benötigt wird, um das Haar nach der Behandlung mit der untersuchenden Chemikalie um 30 % zu dehnen.

K_0 ist die Kraft, die benötigt wird, um es vor der Behandlung um 30 % zu dehnen).

R W-Methode:

Als "R.W", d. h. "Reduction in work" (Arbeitsverringern) bezeichnet man den Wert

$$R W = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100 (\%)$$

(K_0 und K_1 siehe oben)!

Bei Aufzeichnung solcher 30 %-Diagramme erhält man wieder Kurven. Auch hier kann die Fläche zwischen den Kurven ausgemessen werden. Sie gestattet je nach ihrer Größe ein Urteil über die Schädigung.

Auch hier dehnt man im Wasser und gestattet dem Haar, bevor man es mit der zu untersuchen-

den Lösung behandelt, sich im entspannten Zustand längere Zeit in destilliertem Wasser auszuruhen, damit es sich wieder zum ursprünglichen Zustand zurückbildet.

HOOKE'sche Schleifenmethode:

Bei der HOOKE'schen Schleifenmethode handelt es sich um eine wirklich zerstörungsfreie Methode. Sie bedient sich des "relativ-young-modulus" : K/K_0 , wobei K die Anfangsdehnung zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Einsetzen der chemischen Reaktion und K_0 zum Zeitpunkt 0 angibt.

Mit Hilfe dieser Methode konnten eindrucksvolle Messungen über die Wirkungen von Salzlösungen auf Wolle ausgeführt werden. Sie versagt aber in dem Moment, wo durch die zu prüfende Reaktion Fasereigenschaften verändert werden, die sich nicht im Anfangsdehnungsbereich der Lastdehnungskurve wieder spiegeln.

Bei den zerstörungsfreien Meßmethoden werden die Untersuchungen wiederholt an einem Haar durchgeführt, das dabei nicht zerstört wird.

Es können an den Haaren dabei nur solche Reaktionen gemessen werden, die reversibel sind bzw. wo der dabei auftretende Schaden vernachlässigt werden kann (HIRSCH, 1956, 32).

Bestimmung der Relaxation:

Relaxation wird das Absinken der Zugkraft genannt, das sich einstellt, wenn eine zunächst kürzere Faser gedehnt wird und in ihrer neuen Länge festgehalten wird. Auch dieser Vorgang geht erst schnell, dann immer langsamer vor sich (BECKER, 1966, 2). Das bedeutet, daß die Kräfte, die die Kera-
tinmoleküle zusammenhalten, ermüden und sich die Moleküle der Zwangslage im gestreckten Zustand strukturell anpassen und nun darin leichter verharren als im Beginn der Dehnung. Die Relaxation ist eine logarithmische Funktion der Zeit, d. h. sie ist nicht in allen Kurvengebieten eines Kraft-
Dehnungsdiagrammes während des Vorgangs der Dehnung gleich.

Letzterer liegt eine lineare Zeitprogression

zugrunde (RICHTER, 1963, 58).

Relaxometer nach TOBOLSKY:

Zur Messung der Relaxation wird das zu prüfende Haar zwischen die beiden Klemmen eines Relaxometers eingespannt und die Flüssigkeitsröhre mit der Flüssigkeit gefüllt, deren Einwirkung auf das Haar man studieren will. Der Balancebalken trägt Schiebegewichte. Dehnt man nun die Faser durch Verschiebung der Plattform nach unten, so weicht der Balancebalken von der O-Punkt-Marke ab. Man muß das Schiebegewicht also nach rechts rücken, damit der Zeiger des Balancebalkens, der nun auf das Haar einen größeren Zug ausübt, wieder auf die Nullmarke zeigt. Durch die Ermüdungserscheinungen im Haar kann man im Laufe der Zeit das Gewicht wieder allmählich nach links zurückschieben, um den Balkenzeiger auf die Null-Marke einzustellen. Mißt man mit der Stoppuhr die Zeit, während der man zwangsläufig die auf den Arm wirkende Kraft verringern muß, um ihn im Gleichgewicht zu halten und trägt man die Zeit in einem

Diagramm gegen das Verhältnis: Anfangsspannung / Spannung zur Ablesezeit auf, so erhält man eine Relaxationskurve, die erkennen läßt, daß die Spannung in logarithmischer Funktion mit der Zeit abfällt (KATZ und TOBOLSKY, 1956, 42).

Ein Trommelrelaxometer wurde von KUKIN u. a. (1958, 44) entwickelt.

Bestimmung der Torsionsfestigkeit:

Wird ein Haar um seine Längsachse tordiert, so kehrt es bis zu einem bestimmten Verdrehungswinkel nach Aufhören der drehenden Kraft wieder in seine normale Länge zurück (BRAUCKHOFF, 1958, 11).

Ähnlich wie bei den Metallprüfungsmethoden hat man auch bei Wolle und Haaren die Kraft gemessen, die zur Verdrehung des Haares um seine Längsachse nötig ist.

Mit der Rotationsmethode läßt sich eine Last-Rotationskurve aufstellen.

Hängt man an ein Haar ein Gewicht, so beobachtet man nicht nur eine Dehnung, sondern auch eine spontane Drehung des Haares um seine Längsachse. Besonders stark ist diese

Rotation im Gebiet der Mitteldehnung.

Offenbar findet eine Entdrillung im Laufe des Dehnungsvorganges statt. Experimentell kann man die Beobachtung mit einer Apparatur nachprüfen, die nach dem Prinzip der FUVA-Waage arbeitet und bei der das Haar anstatt an der oberen Halterung, an einem 10 cm langen Seidenfaden befestigt wird. Das andere Ende des Haares wird durch die durchbohrte Scheibe einer Winkelkreisskala geführt. An der Knüpfstelle von Haar und Faden ist ein kleiner Zeiger angebracht, der über die Winkelskala streicht. Man belastet die Waagschale der Apparatur mit einem 5 g Gewicht und liest am Winkelkreis ab, um wieviel sich der Zeiger am Haarende gedreht hat. Ist der Zeiger zur Ruhe gekommen, so belastet man mit weiteren 5 g und fährt auf diese Weise mit der Belastung fort, wie es bei der Ausführung der Bonitierungsmethode beschrieben wurde.

Je mehr sich das Haar durch die steigende Belastung dehnt, desto weiter verdreht es sich um seine Längsachse und zwar durchschnittlich um $10 - 30 \times 360^\circ$, bis es endgültig reißt.

Rechnet man nun die für jede Gewichtsstufe abgelesene Drehung des Haares ins Bogenmaß um und trägt die von Anfang der Messung bis zur augenblicklichen Ablesung ermittelte Summe der Bogenmaße gegen die entsprechende Laststufe in einem Koordinationssystem auf, so erhält man eine völlig mit den Last-Dehnungsdiagrammen (durch die Bonitierungsmethode ermittelt) identische dreiteilige Last-Rotationskurve, in der lediglich die Längenmaße durch die Bogenmaße ersetzt sind (HIRSCH, 1956, 35).

D. ZUSAMMENFASSUNG

Vorliegende Arbeit enthält eine Zusammenstellung physikalischer Untersuchungsmethoden für Haare, die hauptsächlich aus der Woll- und Textilindustrie gesammelt wurden. Folgende Untersuchungsmethoden wurden aufgeführt:

1. Bestimmung der Haardicke:

- a) Bestimmung mit dem Mikroskop und zwar mit Hilfe der Mikrometerschraube, mit

dem Okular-Mikrometer und mit dem Projektionsmikroskop (Lanameter).

- b) Mechanische Dickenmesser: Gerät nach CHARLES-ALEXANDER und Feindickenmeßgerät mit meßkraftfreier Abtastung und variierbaren Meßkräften.
- c) Das Luftströmungsverfahren: "Airflow"-Gerät, das mit konstanter Luftmenge arbeitet, und "Solex"-Meßgerät, das mit konstantem Druck arbeitet.
- d) Faserprüfgerät, das auf dem Prinzip beruht, daß Haare durchgehende Lichtstrahlen doppelt brechen und daher mit polarisiertem Licht arbeitet.
- f) Messung mit radioaktiven Strahlern, wobei die Dicke bestimmt wird aus der Schwächung der Strahlung bei Durchsetzung der Fasern. Man verwendet Thallium-204, einen β - Strahler.

2. Bestimmung der Länge bzw. der Längenänderung:

- a) Einfache Bestimmung mit dem Millimetermaßstab bzw. unter dem Mikroskop.

- b) Längenänderungsbestimmung unter Ausnutzung der hygroskopischen Eigenschaft der Haare (Prinzip des Hygrometers).
- c) Neues Längenmeßgerät, das auch noch eine definierbare Naßbehandlung ermöglicht.

3. Bestimmung der Dichte:

Zunächst wird der Begriff der Dichte definiert, und die Schwierigkeiten bei der Bestimmung werden erörtert.

Zur Bestimmung wird die Schwebemethode aufgeführt und zwar mit Temperatur- und Konzentrationsvariation der Tauchflüssigkeit, in welche die Faser gebracht wird.

4. Bestimmung der Elastizität und Festigkeit:

Zuerst werden die hierhergehörigen Begriffe definiert. Da die Ergebnisse in Last- bzw. Kraft-Dehnungs-Diagrammen aufgezeichnet werden, sind beide erklärt.

Ältere Meßmethoden:

- a) Apparat nach MENSCHEL, bei dem das Haar einfach zwischen 2 Klemmen gespannt und dann belastet wird.

Modifizierungen davon sind der Apparat nach CAJKOVAC, das Gerät von MARCHIONINI und ARETZ.

- b) Methode nach BASLER,
- c) SCHOPPER-Gerät nach dem Pendelwaagensystem,
- d) Gerät nach FRANK mit dem Prinzip der Torsionswaage,
- e) Feder-Dynamometer,
- f) Gerät nach CHARLES O'NEILL, das mit dem hydrostatischen Prinzip arbeitet.

Neuere Meßmethoden:

- a) Elektronisches Festigkeitsprüfgerät mit Tauchspule, die sich im Feld eines Elektromagneten bewegt.
- b) Dehnungskurven nach RICHARD mit zeitlich konstanter Kraftzunahme.
- c) Optimaldrehungszähler, ein vielseitiges Prüfgerät.
- d) Automatisches Einzelfaser-Reißgerät
- e) Schnellzerreißapparat, mit einer vorgespannten Druckfeder und Öldämpfung

als Antriebsorgan für die abziehende Klemme.

- f) Mikrogerät nach CHEVENARD, ein Präzisionsreißgerät für verschiedenste Belastungsbedingungen.
- g) Trägheitslose Bestimmung mittels Messung des elektrischen Widerstandes eines in Abhängigkeit von der jeweiligen Faserspannung bzw. Faserdehnung verschieden gelängten elektrischen Leiters.
- h) Dauer-Wechsel-Zugprüfer.
- i) Neuer Spannungs-Dehnungsmesser, der auch die Dehnungsänderung in Abhängigkeit von der Belastung bzw. der Zeit bestimmt.
- k) Gerät mit gleichzeitiger Kraft- und Dehnungsanzeige.
- l) Harfenreißgerät
- m) Bündelfestigkeitsprüfer: Fasern werden im Bündel dem Zug unterworfen (PRESSLEY-, CLEMSON-Tester, Stelometer).
- n) Bonitierungsmethode: Lastenvermehrung erfolgt immer erst dann neu, wenn der

jeweilige relative Gleichgewichtszustand erreicht ist.

- c) Bestimmung der Elastizität nach der Methode der Schwingungen.
- p) Einzelfaser-Kraft-Dehnungsprüfgerät:
Kraftübertragung durch Torsionsdraht,
Dehnung durch beweglichen Rechen.
- q) Bestimmung der Elastizitätsgrenzlast
mit SCHOPPER-Gerät und neuem Meßgerät.
- r) Zerstörungsfreie Methoden (Kreis-, 30 %-,
RW-, HOOKE-Schleifen-Methoden).

5. Bestimmung der Relaxation:

Zunächst wird der Begriff der Relaxation erläutert. Als Meßmethode wird das "Relaxometer" nach TOBOLSKY angeführt und ein Trommelrelaxometer erwähnt.

6. Bestimmung der Torsionsfestigkeit:

Der Begriff der Torsionsfestigkeit wird erläutert. Als Meßmethode wird die Rotationsmethode beschrieben.

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit werden neuere Untersuchungsmethoden an Haaren zusammengestellt. Sie stammen hauptsächlich aus der Woll- und Textilindustrie.

Viele der angegebenen Methoden wurden anscheinend in der medizinischen Literatur noch nicht aufgeführt.

Es werden Untersuchungsmethoden beschrieben für die folgenden Eigenschaften der Haare:

1. Bestimmung der Haardicke
2. Bestimmung der Länge bzw. Längenänderung
3. Bestimmung der Dichte
4. Bestimmung der Elastizität
5. Bestimmung der Relaxation
6. Bestimmung der Torsionsfestigkeit

Bei den angeführten Methoden handelt es sich um die mechanisch- physikalische Analyse des Haares, da diese weitere Einblicke in die chemische Struktur des Haares und seine physikalischen und physiologischen Eigenschaften erlaubt.

Die einzelnen Untersuchungsmethoden sind im Prinzip und in der Ausführung genau beschrieben.

E. LITERATURVERZEICHNIS

- 1 BAUER, A. u. Fr. WINKLER: Dynamische Zugprüfung an Fäden, Faserforschung u. Textiltechnik 6, 249 (1964)
- 2 BECKER, O.: Untersuchungen über das Erholungsvermögen von Textilien, die längere Zeit einer Zugbeanspruchung ausgesetzt waren, Melliland Textilberichte 4, 349 (1966)
- 3 BOBETH, W.: Beitrag zur Bestimmung der Dichte von Faserstoffen, Faserforschung u. Textiltechnik 2, 83 (1965)
- 4 BOBETH, W. u. L. VOLLRATH: Mechanisches Feindickenmeßgerät mit variierbaren Meßkräften für vielseitige Einzelfaseruntersuchungen, Faserforschung u. Textiltechnik 12, 543 (1958)
- 5 BRAUCKHOFF, H: Physik des Haares, Koblenz/Rhein (Verlag Dr. Paul Schöps) 1958, S. 15

- 6 BRAUCKHOFF, H. Physik des Haares,
Koblenz/Rhein (Verlag Dr. Paul
Schöps) 1958, S. 23
- 7 — " — ebenda
S. 45
- 8 — " — ebenda
S. 54
- 9 — " — ebenda
S. 59
- 10 — " — ebenda
S. 60
- 11 — " — ebenda
S. 61
- 12 — " — ebenda
S. 81

- 13 BRAUCKHOFF, H. u. H. C. FRIEDERICH: Vergleichende Untersuchungen über die Reißfestigkeit und Längsquellung des menschlichen Haares,
Archiv f. Derm. u. Syph.
5, 466 (1953)
Verlag Springer
- 14 CRANE, R. A. u. P. C. WHARFF: Ein automatischer Einzelfaser-Reißapparat,
Textile Research Journal,
4, 343 (1958)
- 15 DISCHKA, G.: Mit polarisiertem Licht arbeitendes Faserprüfgerät,
Melliand Textilberichte
8, 870 (1961)
- 16 DUBACH, P.: Der Optimal-Drehungszähler, ein vielseitiges neues Prüfgerät für die Textilindustrie,
Melliand Textilberichte
4, 361 (1957)
- 17 FRANK, K.: Feinfaserprüfgerät, Bauart AEG-FRANK, zur Bestimmung der Festigkeit u. Dehnung von Fasern
Melliand Textilberichte
10, 764 (1951)

- 18 FRENZEL, W.: Physikalisch technische Faser-
prüfung,
Faserf. u. Textiltechnik
5, 193 (1959)
- 19 FRENZEL, W. u.
R. VIETH: Über die Anwendung von radio-
aktiven Isotopen in der Tex-
tiltechnik,
Faserf. u. Textiltechnik
10, 437 (1956)
- 20 FRIEDERICH H. C.
u. G. FRÖB: Zur Veränderung der Reißfestig-
keit und Bruchdehnung des mensch.
Haares unter heute üblichen kos-
metischen Einwirkungen
Dermatolog. Wschr. 12, 265 (1950)
- 21 FUHRMANN, W. u.
R. RICHTER: Über die Erfolgsaussichten von
Belastungs-Dehnungs-Messungen
am menschl. Haar für diagnosti-
sche Zwecke,
Der Hautarzt 6, 122 (1955)
- 22 GEITEL, K.: Eine Methode zur Bündelfestig-
keitsprüfung von Chemiefasern
Faserf. u. Textiltechnik
8, 352 (1962)

- 23 GRUONER, S.: Vergleich der Wollfein-
heitsmessung zwischen
Lanameter u. Air-flow-Gerät,
Melliand Textilberichte
11, 1207 (1958)
- 24 GOHADI OSUMI u.
ETSURO KATO: Beschreibung eines neuen
Faserprüfers,
Melliand Textilberichte
19, 460 (1938)
- 25 GORDEEV, V. A.: Untersuchung der elastischen
Eigenschaften textiler Er-
zeugnisse unter dynamischen
Deformationsbedingungen nach
der Methode der Schwingungen,
Faserf. u. Textiltechnik
9, 417 (1955)
- 26 HADWICH, F.: Das Stelometer,
Spinner u. Weber 25, 1189 (1957)
- 27 HALBACH, K.: Fließgrenzmesser zur Bestimmung
der Elastizitätsgrenzlast,
Melliand Textilberichte
1, 40 (1953)

- 28 HEGER, A.: Die Anwendung von radioaktiver
Strahlungsquellen in der Texti
industrie,
Faserf. u. Textiltechnik
7, 318-325 (1962)
- 29 HEILINGGÖTTER, R.: Messungen am menschl. Haar,
Parfüm u. Kosmet. 35, 401 (1954)
- 30 HIRSCH, FR.: Das Haar des Menschen,
Ulm, (Karl F. Haug-Verlag)
1956, S. 45
- 31 — " — ebenda
S. 81-82
- 32 — " — ebenda
S. 87
- 33 — " — ebenda
S. 90
- 34 — " — ebenda
S. 92
- 35 — " — ebenda
S. 102
- 36 — " — ebenda
S. 104

- 37 HYRTL, J. : Lehrbuch der Anatomie des
Menschen,
Wien (W. Braunmüller-Verlag)
1873
- 38 JUILFS, J.: Zur praktischen Beurteilung
des Kraft-Dehnungsverhaltens,
Melliand Textilberichte
7, 801 (1960)
- 39 JUILFS, J.: Verfahren u. Vorrichtung zum
Messen von Fadenspannungen u.
-dehnungen,
Textil-Praxis
3, 280 (1963)
- 40 JUILFS, J.: Zur praktischen Prüfung u. Be-
stimmung von Faserdichten,
Melliand Textilberichte
9, 963 (1959)

- 41 KARCZEWSKI, T.: Erfahrungen mit neuzeitlichen Prüfgeräten,
Deutsche Textiltechnik
6, 321 (1960)
- 42 KATZ, S. M. u. A. V. TOBOLSKY: Zitat nach HIFSCH, FR.
Das Haar des Menschen,
Ulm, (Karl F. Haug-Verlag)
1956, S. 85
- 43 KÖB, H. u. E. STIEPEL: Feinheitmessungen an Textil-
fasern nach dem Luftdurch-
lässigkeitsverfahren,
Melliand Textilberichte
2, 688 (1951)
- 44 KUKIN, G.: Untersuchung der Relaxation
bei Zugdeformation in Tex-
tilien-Fäden,
Faserf. u. Textiltechnik
1, 21-22 (1958)
- 45 MARCHIONINI A. u. H. ARETZ: Studien über die Reißfestig-
keit der menschl. Haare,
Dermatolog. Wschr. 99, 1285
(1934)
- 50 MARTIN, H.: Die Reißfestigkeit von Textil-
fäden bei verschiedenen Dehnungs-
geschwindigkeiten,
Faserf. u. Textiltechnik 8,
(1959)

- 51 MENSCHEL, H.: Zur Kolloidchemie u. Pharmakologie der Keratinsubstanzen der menschl. Haut,
Arch. f. exper. Path. 1, 8
(1925)
- 52 MESKAT, W. u. DORMAGEN Die gleichzeitige Prüfung eines Kollektivs aus textilem Material mit dem Harfenreißgerät,
Faserf. u. Textiltechnik 8,
317 (1957)
- 53 MÜSSMER, V.: Prüfeinrichtung für Festigkeits- u. Dehnungseigenschaften von Textilfasern,
Textil-Praxis 6, 606 (1956)
- 54 ORR, R. S.: Zitat nach JUILFS, J.
Melliand Textilberichte
2, 963 (1959)
- 55 FREUSSER, H. M. u. A. O'CONNEL u. a.: Einzelfaser-Kraft-Dehnungs- Prüfgerät,
Textile Research Journal
2, 118 (1954)
- 6 RICHTER, R.: Handbuch der Haut- u. Geschlechtskrankheiten,
Ergänzungswerk, 1. Band, 3. Teil,
Berlin-Göttingen-Heidelberg
(Springer-Verlag) 1963, S. 329

- 57 RICHTER, R.: Handbuch der Haut- u. Geschlechtskrankheiten,
Ergänzungswerk, 1. Band,
3. Teil,
Berlin-Göttingen-Heidelberg
(Springer-Verlag) 1963, S. 194
- 58 — " — ebenda
S. 329
- 59 — " — ebenda
S. 335
- 60 SCHIMMELSCHMIDT, J.: Messung der Längenänderung an
Fäden nach einer Naßbehandlung,
Faserf. u. Textiltechnik
2, 98 (1965)
- 61 TEICH, R.: Faserfeinheitmessung mit dem
pneumatischen Solex-Meßgerät,
Melliand Textilberichte
10, 1082 (1958)

- 62 Textiltechnik, deutsche: Das Vibroskop,
Deutsche Textiltechnik
11, 613 (1959)
- 63 WEGENER, W.: Meßgerät für die gleichzei-
tige Ermittlung der spannungs-
u. zeitsabhängigen Dehnung u.
Dehnungsänderung auf Zug bean-
spruchter Garne,
Melliand Textilbericht
32, 928 (1951)
- 64 WESTPHAL, W.: Kleines Lehrbuch der Physik,
4. Auflage, Berlin-Göttingen-
Heidelberg
(Springer-Verlag) 1961, S. 51
- 65 WILHELM, A. u. Das Herfenreißgerät als Produk-
V. REINSHAGEN: tionskontrolle u. als Maßstab
für die Verarbeitungsgüte,
Melliand Textilberichte 4,
382 (1957)

F. LEBENSLAUF

Am 13. März 1943 wurde ich als Tochter des Bundesbahnoberinspektors Max Sulzenbacher und seiner Ehefrau Wiltrud, geb. Oechsle, in Augsburg geboren.

1945 fiel mein Vater im Krieg.

Von 1949 - 1953 besuchte ich die Volksschule in Dietkirch, Gemeinde Gessertshausen.

1954 kam ich in die Oberschule der Englischen Fräulein in Günzburg, die ich 4 Jahre besuchte.

Von 1958 - 1959 besuchte ich die Maria-Theresia-Oberrealschule in Augsburg. Von 1959 - 1962 war ich in dem Realgymnasium der Armen Schulschwestern vom Anger, in München, wo ich 1962 das Abitur machte.

Im Oktober 1962 immatrikulierte ich mich an der Universität München für das Studium der Medizin.

Im WS 1964/65 bestand ich hier das Physikum.

Im Sommer 1968 bestand ich mein Staatsexamen in München.

Im März 1969 heiratete ich.

Vom 1. Oktober 1968 bis 31. April 1969 war ich als Medizinalassistentin an der Städt. Kinderklinik in Augsburg tätig.

